

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**CLASSIFICAÇÃO DE ESTOQUES NA CONSTRUÇÃO CIVIL
COM APOIO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO ELECTRE TRI**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

NADIA KELNER SZAJUBOK

Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida

Recife, novembro de 2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

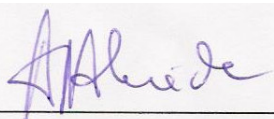
NADIA KELNER SZAJUBOK

“CLASSIFICAÇÃO DE ESTOQUES NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM
APOIO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO ELECTRE TRI”

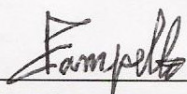
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidata NADIA KELNER SZAJUBOK **APROVADA COM DISTINÇÃO**

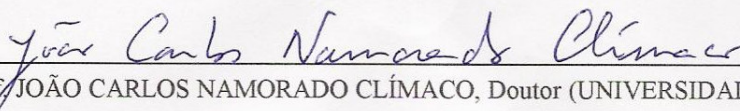
Recife, 18 de novembro de 2004.



Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)



Prof. FERNANDO MENEZES CAMPELLO DE SOUZA, PhD (UFPE)



Prof. JOÃO CARLOS NAMORADO CLÍMACO, Doutor (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

Ao meu marido *Marcel* e
meus pais, *Rejane e Roberto*,
com todo carinho, por todo amor
e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a minha família, em especial a meu marido *Marcel*, meus pais *Rejane e Roberto*, minha irmã querida *Natalie* e meus avós pelo carinho, apoio, paciência e incentivo em todos os momentos.

Ao Prof. *Adiel Teixeira de Almeida*, orientador e amigo, pela dedicação e estímulo constantes durante a realização deste trabalho; pela confiança em mim depositada e, principalmente pela amizade nos momentos difíceis.

Aos amigos, *Larissa, Luciano, Débora, Vanessa, Felipe, Wagner, Luciana e Danielle*, pelas horas de estudo e inesquecíveis momentos de descontração e alegria. E a todos os colegas da turma de mestrado pela rica troca de experiências.

Agradeço a comissão examinadora, *Prof. Fernando Menezes Campello de Souza* e *Prof. João Carlos Namorado Clímaco*, pelos valiosos comentários sobre meu trabalho.

Meus agradecimentos ao PPGE/UFPE, mais precisamente à coordenação do curso e a secretaria do mestrado, em especial *Ivany, Jane e Juliane*, com as quais sempre pude contar com o auxílio na resolução de questões administrativas e burocráticas.

A todas as pessoas que de alguma forma incentivaram e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O setor da construção civil ocupa um lugar de destaque para o desenvolvimento econômico e social do país, gerando bens de atendimento direcionados às necessidades humanas ou que fazem parte da capacidade produtiva. O processo de gestão de materiais tem assumido grande relevância, apontando seu caráter estratégico de potencial redutor de custos e propulsor da inovação tecnológica e organizacional das empresas de construção.

A questão básica a ser tratada é a forma como pode ser realizada uma classificação dos materiais à luz de múltiplos critérios, visto que esse procedimento não é aplicado na obra podendo ocasionar problemas como falta de materiais e interrupção da produção.

Diante da complexidade do problema, o modelo foi apresentado sob o enfoque da problemática de classificação. Portanto, este trabalho apresenta um estudo de caso, objetivando apresentar um modelo mais estruturado para o processo decisório no que diz respeito à gestão de materiais na construção civil, através da aplicação do método de apoio à decisão ELECTRE TRI, visando classificar os materiais de uma obra em três categorias às quais devem ser adotados procedimentos de políticas de estoques para cada uma delas.

ABSTRACT

The civil construction sector has an important place in the country's economic and social development, producing goods of attendance related to the human necessities or to the productive capacity. The management material process has assumed great relevance due to its strategic role on reducing costs and pushing up the construction companies' technological and organizational innovation.

The basic question to be considered is the way that material classification can be done using multiple criteria; hence this procedure is not being use in the construction site and may lead into problems such as lack of materials and production interruption.

Due to the problem complexity, the model was presented under a focus of the classification problematic. Thus, this work presents a case study, aiming to present a structuralized model to the decision process in the civil construction materials management. The model of built using ELECTRE TRI, a decision support method, aiming to categorize the material in three classes.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Relevância do estudo.....	2
1.2	Objetivo do Trabalho	4
1.2.1	Objetivo geral	4
1.2.2	Objetivos específicos	5
1.3	Estrutura da Dissertação	5
2	BASE CONCEITUAL	7
2.1	Conceito de Decisão.....	7
2.2	Problema de decisão.....	8
2.3	Apoio Multicritério à Decisão	9
2.3.1	Problemáticas de referência	9
2.3.2	Modelagem de preferências	12
2.3.2.1	Sistemas de relações de preferências	13
2.3.2.2	Estrutura de preferências	16
2.3.3	Conceitos básicos	17
2.3.3.1	Critérios	17
2.3.3.2	Relação de dominância.....	19
2.3.3.3	Ação eficiente	19
2.3.3.4	Taxa marginal de substituição	19
2.4	Métodos Multicritério	19
2.4.1	Teoria da Utilidade Multiatributo - MAUT	20
2.4.2	Processo Analítico de Hierarquização – AHP.....	22
2.4.3	Métodos ELECTRE.....	22
2.4.3.1	ELECTRE I.....	23
2.4.3.2	ELECTRE IS	25
2.4.3.3	ELECTRE II	25
2.4.3.4	ELECTRE III.....	26
2.4.3.5	ELECTRE IV.....	29
2.4.3.6	ELECTRE TRI.....	29
2.4.4	Método PROMETHEE	43
3	CONTROLE DE ESTOQUES	45
3.1	Definição de estoques.....	45
3.2	Classificação do estoque	46
3.3	Administração de estoque.....	47
3.4	Custos dos estoques.....	47
3.5	Curva ABC	48
3.5.1	Abordagens da classificação ABC	50
3.6	Pesquisa bibliográfica	51
3.6.1	Métodos usados para a classificação dos estoques.....	51
3.6.2	Métodos usados para a seleção de fornecedores	56
3.6.3	Uso de multicritério para a seleção de política de reposição de estoque	57
3.6.4	Estoques e o contexto organizacional.....	59
3.6.5	Características do Setor da Construção Civil.....	60

3.6.6	A Construção Civil e os Estoques	61
3.6.6.1	Comparação entre a indústria de manufatura e da construção civil.....	61
3.6.6.2	Problemas da Engenharia e da Indústria da Construção	62
3.6.6.3	Integração das atividades de EPC	63
4	MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	66
4.1	Descrição do modelo de classificação de estoques	66
4.2	Estruturação do problema.....	68
4.2.1	Identificação dos atores.....	69
4.2.2	Elementos característicos para a avaliação	70
4.2.3	Alternativas	70
4.2.4	Critérios de avaliação.....	71
4.2.5	Caracterização da problemática.....	72
4.2.6	Escolha do método multicritério	72
4.2.7	Número de categorias	73
5	APLICAÇÃO DO MODELO	76
5.1	Descrição da empresa.....	76
5.1.1	Análise da obra estudada.....	76
5.1.2	Estrutura organizacional da empresa	76
5.1.3	Gestão de materiais.....	78
5.1.4	Fluxo de Informações	79
5.2	Aplicação do Modelo	80
5.2.1	Levantamento dos materiais.....	80
5.2.2	Avaliação das alternativas.....	80
5.2.3	Aplicação do método ELECTRE TRI	81
5.2.4	Análise de sensibilidade.....	84
5.2.5	Procedimento de inferência dos parâmetros	85
5.2.6	Comparação entre os resultados obtidos.....	89
5.2.7	Aplicação da curva ABC.....	91
5.2.8	Comentários sobre a aplicação	91
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	94
6.1	Conclusões.....	94
6.2	Sugestões para futuros trabalhos.....	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-Problemática de escolha.....	11
Figura 2.2- Problemática de classificação.....	12
Figura 2.3- Problemática de ordenação.....	12
Figura 2.4-Índice de concordância – Vincke (1992)	28
Figura 2.5-Índice de discordância $D_j(a,b)$ – Vincke, 1992.	28
Figura 2.6- Alternativas de referência (b), Critério (i) e Categorias (C) no Electre TRI.....	30
Figura 2.7 - Relação entre a e b_h a partir de $\sigma(a,b_h)$, $\sigma(b_h,a)$ e λ	34
Figura 2.8- Diagrama de utilização do Electre TRI.....	36
Figura 2.9- Esquema Geral do procedimento de inferência.....	37
Figura 2.10- Função Sigmoidal $f(x)$	41
Figura 2.11- Aproximação de $c_j(a_k,b_h)$ por $\hat{c}_j(a_k,b_{hj})$	42
Figura 4.1- Modelo de classificação de itens de estoque.....	67
Figura 4.2 –Fluxograma das atividades	69
Figura 4.3- Fluxo de definição dos parâmetros do ELECTRE TRI	74
Figura 5.1- Organograma da empresa.....	77
Figura 5.2- Definição dos perfis do ELECTRE TRI	81
Figura A.1 – Curva ABC	151
Figura A.2 – Comparativo entre a Classificação da Curva ABC e do Procedimento Pessimista realizado pelo ELECTRE TRI.....	152
Figura A.3 – Comparativo entre a Classificação da Curva ABC e do Procedimento Otimista realizado pelo ELECTRE TRI.....	152
Figura A.4 – Comparativo entre a Classificação da Curva ABC e do Procedimento Pessimista realizado pelo ELECTRE TRI com o modelo de inferência dos parâmetros.....	153
Figura A.5 – Comparativo entre a Classificação da Curva ABC e do Procedimento Otimista realizado pelo ELECTRE TRI com o modelo de inferência dos parâmetros.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Situações básicas de preferência para comparar duas ações potenciais	14
Tabela 2.2- Situações consolidadas de preferências para comparar duas ações potenciais.....	15
Tabela 2.3- Estruturas Básicas de Sistemas de Relações de Preferências sem Incomparabilidade.....	16
Tabela 2.4- Estruturas Básicas de Sistemas de Relações de Preferências com Incomparabilidade.....	17
Tabela 5.1- Matriz dos limites das classes $g_j(b_h)$	81
Tabela 5.2- Critérios de avaliação e seus respectivos pesos	82
Tabela 5.3- Matriz dos limiares de veto $V_j(b_h)$	82
Tabela 5.4- Matriz de classificação das alternativas.....	86
Tabela 5.5- Perfis iniciais para os limites das categorias.....	87
Tabela 5.6- Valores iniciais para os limiares	87
Tabela 5.7- Valores iniciais para as variáveis	87
Tabela 5.8- Valores "ótimos" dos perfis dos limites das categorias	88
Tabela 5.9- valores dos limiares "ótimos"	88
Tabela 5.10- Valores finais de x_k e y_k	89
Tabela A.1 – Lista dos materiais	104
Tabela A.2 – Tabela de Avaliação 1.....	107
Tabela A.3 – Tabela de Agregação dos Materiais Elétricos 1.....	109
Tabela A.4 – Tabela de Agregação dos Materiais Elétricos 2.....	109
Tabela A.5 – Tabela de Agregação dos Materiais Elétricos 3.....	109
Tabela A.6 – Tabela de Agregação das Louças Sanitárias 1.....	110
Tabela A.7 – Tabela de Agregação das Louças Sanitárias 2.....	110
Tabela A.8 – Tabela de Agregação dos cabos.....	110
Tabela A.9 – Tabela de Agregação dos Materiais de Esgoto.....	111
Tabela A.10 – Tabela de Agregação dos Materiais de Água Fria.....	112
Tabela A.11– Tabela de Avaliação 2.....	113
Tabela A.12 – Matriz dos índices de concordância $c(a,b_h)$ e $c(b_h,a)$ do ELECTRE TRI – Critério custo de investimento.....	115
Tabela A.13 – Matriz dos índices de concordância $c(a,b_h)$ e $c(b_h,a)$ do ELECTRE TRI – Critério Lead Time.....	117

Tabela A.14 – Matriz dos índices de concordância $c(a,b_h)$ e $c(b_h,a)$ do ELECTRE TRI – Critério Impacto de Falta.....	119
Tabela A.15 – Matriz dos índices de concordância global $C(a,b_h)$ e $C(b_h,a)$ do ELECTRE TRI.....	121
Tabela A.16 – Matriz dos índices de discordância $d(a,b_h)$ e $d(b_h,a)$ do ELECTRE TRI – Critério Custo de Investimento.....	123
Tabela A.17 – Matriz dos índices de discordância $d(a,b_h)$ e $d(b_h,a)$ do ELECTRE TRI – Critério Lead Time.....	125
Tabela A.18 – Matriz dos índices de discordância $d(a,b_h)$ e $d(b_h,a)$ do ELECTRE TRI – Critério Impacto de Falta.....	127
Tabela A.19– Matriz dos índices de credibilidade $\sigma(a,b_h)$ e $\sigma(b_h,a)$ do ELECTRE TRI.....	129
Tabela A.20 – Matriz das relações de Sobreclassificação do ELECTRE TRI.....	131
Tabela A.21 – Resultado da Aplicação do ELECTRE TRI.....	133
Tabela A.22– Resultado da análise de sensibilidade 1 – variação no parâmetro λ de 0,5 para 0,6.....	135
Tabela A.23 – – Resultado da análise de sensibilidade 2 – variação no peso IF em 20%.....	137
Tabela A.24 – variação nos pesos CI e LT em 20%.....	139
Tabela A.25 – variação nos limites de classes em 10%.....	141
Tabela A.26 – Variação no veto em 10%.....	143
Tabela A.27– Variação nos limiares em 10%.....	145
Tabela A.28– Resultado do ELECTRE TRI com resultados do modelo de inferência dos parâmetros.....	147
Tabela A.29 – Curva ABC.....	149

1 INTRODUÇÃO

A construção civil ocupa, na engenharia, lugar de destaque à medida que desenvolve, continuamente, atividades econômicas que beneficiam a sociedade como um todo e, por via de consequência, objetiva a melhoria da qualidade de vida do homem moderno. O setor coopera para o desenvolvimento econômico e social do país, gerando bens de atendimento direcionados às necessidades humanas ou que fazem parte da capacidade produtiva.

A indústria da construção civil é geradora de empregos, com capacidade de absorção de expressivos contingentes de mão-de-obra, especialmente de profissionais menos qualificados do sexo masculino e socialmente dependentes, com grande sensibilidade às características regionais e sociais. Esse ramo de atividade contribuiu com 7,1 % do Produto Interno Bruto (PIB) nacional em 2003, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Em razão da escassez de habitações em nível nacional, o sub setor de edificações da construção civil jamais deixou de vender o que estava sendo produzido. Tal circunstância eliminou o fator competitivo que provocou a ineficiência, o desperdício e a improvisação, fatores esses determinantes de maiores custos.

Tendo seus lucros assegurados de forma permanente, os empresários não dispensaram o devido apreço ao gerenciamento da cadeia de suprimentos no ambiente produtivo. Porém, com o transcorrer do século XX, a situação econômica brasileira foi sendo, aos poucos, levada a uma integração universal, decorrente da globalização. Conseqüentemente, novas tecnologias foram sendo absorvidas e uma nova dinâmica passou a ser adotada, de forma incipiente, no processo produtivo de construção civil.

Atualmente, observa-se que muitas das obras no segmento ainda são realizadas de forma artesanal, sem a mínima preocupação com um planejamento mais detalhado e sem a garantia de cumprimento do orçamento e do prazo estabelecido, conhecido como planejamento informal.

Em um mercado tão competitivo, o empresário que queira atingir o sucesso em seu trabalho, na execução de um empreendimento de construção civil, precisa conhecer fatores-chave para um perfeito gerenciamento, com a aplicação de processos científicos, utilizando variáveis retiradas do mercado, relativas a recursos humanos, materiais e equipamentos, que o tornem capaz de concluir a obra com qualidade satisfatória, dentro de um prazo determinado e, principalmente, seguindo os custos de execução previstos em um orçamento bem elaborado. Porém, segundo Picchi (1993), a maioria dos profissionais desse campo não se

preocupam com o controle da execução do projeto ou, no máximo, usam sistemas informais para controlar a entrada e a saída de materiais na obra.

A despeito do esforço necessário para a adoção de novas formas de solução de problemas de caráter gerencial, muitas vezes, porém, por uma resistência sempre oferecida às mudanças, os reais benefícios que lhes são ofertados não são usufruídos em sua totalidade. Assim, um processo de mudança radical na concepção produtiva há de ser precedido de uma motivação compulsória por parte do empresário do setor.

Ao longo dos anos, a área técnico-estrutural foi colocada em primeiro plano na construção civil pela sua real importância, e à área de suprimentos não foi dada a devida importância. Hoje, o gerenciamento da cadeia de suprimentos adquiriu o respeito que lhe cabe ter na cadeia produtiva.

Eis que o suprimento é a fase da aquisição, fabricação, transporte e entrega, na obra, de todos os equipamentos, estruturas e materiais em geral necessários à construção e indispensáveis à execução do empreendimento. A responsabilidade quanto ao suprimento, no seu conceito mais amplo e atual, não se restringe apenas a materiais e produtos, mas também abrange os serviços e a mão-de-obra.

Benefícios inquestionáveis são produzidos pela moderna logística no processo de administrar o estoque. Da origem ao destino final, cabe à logística o fluxo econômico e eficiente dos serviços, manuseios, movimentações e armazenagens da cadeia de suprimentos. Tal abrangência demanda a existência de um inter-relacionamento permanente durante todo o ciclo dos percursos que são trilhados pelos suprimentos. Dessa forma, fica garantida uma continuidade permanente de informações e consegue-se, gradativamente, um aprimoramento qualitativo de tais procedimentos.

Na busca de oferecer uma contribuição robusta e valiosa ao construtor, centra-se o trabalho, ora desenvolvido, na confecção de um modelo que possa ser adaptado para a obtenção de um bom controle dos estoques e benefícios resultantes. Para atingir esse objetivo será utilizada a metodologia Multicritério de Apoio à Decisão.

1.1 Relevância do estudo

Os materiais representam um elevado percentual nos custos de construção. No Brasil, de acordo com Limmer (1997), os custos de materiais representam 60% do custo da construção. Adicionalmente, a falta de materiais é, segundo o Instituto de Indústria da Construção (CII-*Construction Industry Institute*, 1988), uma das causas mais comuns no atraso da construção.

Apesar do alto percentual dos materiais nos custos totais, o processo de suprimento de materiais é freqüentemente negligenciado.

O estudo de Marsh (1985) indica que, enquanto a indústria de manufatura gasta 1% dos seus custos em administração do sistema de suprimentos, a indústria de construção gasta apenas 0,15%.

O processo de fornecer materiais às obras é razoavelmente complexo para um projeto de construção. O processo envolve muitas etapas, realizadas em diversos departamentos diferentes, tais como o projeto, a compra, a produção e a contabilidade. O número de materiais é enorme e há uma grande variedade de fornecedores, desde as pequenas empresas com baixa tecnologia às modernas indústrias de capital intensivo.

A eficiência da fonte de materiais está relacionada fortemente com a postura estratégica da firma, porque depende do tipo do relacionamento que se estabelece com cada fornecedor.

Os estudos do CII (*Construction Industry Institute*), em 1985 e 1986, enfatizaram o valor prático de uma administração de materiais apropriada. Esses estudos mostraram que reais economias existem na melhora da produtividade do trabalho, na redução do excesso de materiais e no aumento do fluxo de caixa.

Um sistema de gerência dos materiais inclui as funções principais de identificar, adquirir, distribuir, e dispor dos materiais necessitados em um projeto de construção.

Os objetivos mais importantes da gerência de materiais são:

- Assegurar que materiais de qualidade estarão disponíveis onde foram solicitados;
- Obter o melhor valor para compras de materiais;
- Fornecer eficientemente baixo custo de transporte, segurança, e armazenamento dos materiais dentro dos locais de construção;
- Reduzir o excesso de materiais ao nível mais baixo possível.

A gestão de estoques abrange uma série de ações que permitem ao engenheiro verificar se os estoques estão sendo bem utilizados, bem localizados em relação aos postos de trabalho que deles se utilizam, bem manuseados e bem controlados, o que é, de extrema importância para o bom funcionamento da obra. Uma boa gestão de estoques garantirá uma série de benefícios, tais como:

- Diminuição da hora improdutiva, haja vista que os estoques estarão bem posicionados em relação aos postos de trabalho, diminuindo o tempo necessário para retirá-los;

- Redução do desperdício, já que os materiais serão mais bem manuseados e armazenados, evitando quebras, roubos, estragos, etc;
- Produção constante, pois não haverá interrupção dos trabalhos por falta de materiais;
- Aumento do lucro, pela diminuição das pausas, redução dos desperdícios: evitar-se-ão paradas por falta de materiais, etc.

Além disso, um bom controle de estoques é muito importante para engenharia civil e irá facilitar as tarefas a seguir:

- Planejamento: as técnicas de tempo de execução de serviços serão aprimoradas, pois haverá o consumo médio de cada material em cada fase da obra, o que fornecerá um *feedback* ao setor de planejamento;
- Compras: as necessidades de consumo de materiais deverão ser supridas nas quantidades e datas programadas (ponto de compra). A área de compras procurará atender à obra da melhor maneira possível, negociando, porém, os melhores preços e condições de pagamento e tentando manter um elevado nível de confiança no fornecimento;
- Armazenamento: o recebimento deverá estar seguro das quantidades que recebeu e da qualidade dos materiais, conforme as especificações da engenharia. O armazenamento deverá ser feito em condições adequadas, e o fornecimento desses materiais à equipe de produção será controlado pelo almoxarife;
- Equipe de produção: a equipe necessita de um bom sistema de suprimento dos postos de trabalho; os controles vão garantir que não haja material em excesso nem em falta, o que poderá paralisar um posto de trabalho;
- Contabilização: a contabilidade deverá manter os registros dos custos à medida que os materiais passam pela aquisição. Como resultado dessa atividade, haverá informações sobre a lucratividade de uma obra e o custo de produção de um serviço, visto que se terá o valor da mão-de-obra contratada.

1.2 Objetivo do Trabalho

1.2.1 Objetivo geral

O controle de inventário tem sido alvo de muitos estudos reportados na literatura. Como resultado, uma larga coleção de conceitos e técnicas estão disponíveis para o controle de estoques, como os modelos estocásticos para a determinação da quantidade de pedido,

técnicas de projeção de demanda e técnicas ABC. Recentemente, os sistemas de administração MRP (*Manufacturing Resource Planning*) e ERP (*Enterprise Resource Planning*) foram adicionados.

Essas abordagens para o controle de inventário têm provocado um grande valor na determinação de parâmetros de estoque e planejamento de recursos, tendo sido seus valores questionados com respeito a problemas práticos de controle de inventário. Adicionalmente, vários autores afirmam que muitos métodos quantitativos existentes na administração de produção e pesquisa operacional são insuficientes para enfrentar a complexidade das organizações (Hayes, 1998; Lovejoy, 1998; Machuca, 1998). Esses autores oferecem um amplo escopo na administração de produções, incluindo aspectos qualitativos e *link* com outras áreas da organização.

Assim, é importante analisar o problema de estoques em construção civil, considerando-se os critérios qualitativos e quantitativos para a confecção de um modelo de curva ABC, aplicado ao setor da construção civil, utilizando métodos multicritério de apoio à decisão.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar os materiais utilizados em uma obra;
- Verificar quais são os investimentos em estoques da empresa construtora;
- Identificar os critérios e alternativas para o modelo de curva ABC;
- Escolher o método multicritério que será utilizado;
- Propor o modelo da curva ABC;
- Verificar a aplicabilidade do modelo com o estudo de caso em uma obra.

1.3 Estrutura da Dissertação

A estrutura da dissertação é composta de seis capítulos.

No capítulo 1 foi apresentada uma visão geral da indústria da construção civil e do gerenciamento da cadeia de suprimentos, sendo demonstrada a relevância desse estudo para o setor, bem como os objetivos que se almejam alcançar com o trabalho.

O capítulo 2 explora a base conceitual que fundamenta o trabalho, englobando os conceitos de Apoio Multicritério à Decisão e seus métodos.

O capítulo 3 expõe conceitos de estoques e curva ABC, bem como a pesquisa bibliográfica concernente ao gerenciamento da cadeia de suprimentos na construção civil, os métodos que são utilizados para a realização de curva ABC com mais de um critério e assuntos relativos ao apoio multicritério à decisão, estoques e construção civil.

O capítulo 4 exhibe o modelo proposto para a classificação de estoques, estrutura o problema e justifica o uso do método escolhido e o número de categorias.

O capítulo 5 detalha a aplicação do método multicritério no modelo proposto com um estudo de caso realizado em uma empresa construtora.

O capítulo 6 mostra as conclusões do estudo e faz algumas recomendações para futuros trabalhos.

2 BASE CONCEITUAL

2.1 Conceito de Decisão

As decisões tomadas consciente ou inconscientemente, com boas ou más conseqüências, elas representam a principal ferramenta utilizada para lidar com as oportunidades, os desafios e as incertezas da existência (Hammond *et al*, 1999).

Os problemas de decisões fazem parte da vida das pessoas e das organizações. Segundo Roy (1996), decisões são tomadas quando alguém escolhe fazer ou não fazer algo, ou quando escolhe fazê-lo de uma certa maneira. Essas decisões podem relacionar-se a objetivos da organização, tais como políticas de crescimento, implementação de estratégias, desenvolvimento político, dentre outros fatores que podem ser considerados.

Todo o tempo as pessoas se confrontam com assuntos em que devem decidir. Algumas decisões são óbvias: nem é preciso pensar, como aceitar uma promoção com aumento salarial, porém, as decisões sem esforço constituem exceções à regra. A maioria apresenta dificuldades, é complexa e não aponta soluções fáceis, como a escolha da carreira profissional, a compra de um carro ou apartamento, dentre outras.

Uma decisão precisa ser tomada sempre que a pessoa está diante de um problema que apresenta mais que uma alternativa para sua solução. Mesmo quando, para solucionar um problema, existe uma única ação a tomar, há as alternativas de se tomar ou não essa ação (Gomes *et al*, 2002).

Para Campello de Souza (2002), “uma boa decisão deve ser uma conseqüência lógica daquilo que se quer (preferências que se têm pelas várias conseqüências das decisões, as quais podem ser incertas ou distribuídas no tempo), daquilo que se sabe (é o conhecimento das grandezas envolvidas e das relações entre elas; a informação que se traz ao processo de decisão; a percepção das circunstâncias e das “leis” básicas que prevalecem) e daquilo que se pode fazer (alternativas disponíveis de ação). Cabe, então, ao decisor escolher uma ação de maneira a tornar as conseqüências as mais favoráveis possíveis para ele.”

2.2 Problema de decisão

Qualquer problema decisório pode ser classificado, basicamente, de três maneiras, situando-se em algum ponto de uma escala contínua que vai de problemas completamente estruturados a problemas sem estruturação.

De acordo com Lima (2003), as decisões estruturadas ocorrem quando o problema de decisão pode ser totalmente estruturado com base no conhecimento técnico do decisor ou em teoria relevante sobre o assunto. Nesse caso, as pessoas envolvidas no processo de resolução do problema são capazes de identificar totalmente e de modo coerente todos os elementos da situação de decisão. As decisões estruturadas são também conhecidas como questões programáveis, pois podem ser programadas e solucionadas por computador. Os problemas são repetitivos e rotineiros, e uma vez desenvolvido o procedimento adequado, um computador pode resolver o problema estruturado até mesmo sem a participação do decisor.

As decisões não-estruturadas acontecem quando os atores envolvidos no processo decisório não são capazes de estruturar o problema, nem a teoria relevante sobre o assunto possibilita essa estruturação. Essas decisões são não-programáveis, mal definidas, não se repetem frequentemente, ou as condições são bastante diferentes a cada repetição, de modo que nenhum modelo geral de resolução possa ser programado. Nesse caso, o decisor deve usar a sua experiência, empregando heurísticas e bom senso, sendo ele o único recurso para se chegar à decisão (Lima, 2003). De acordo com Gomes *et al* (2002), o decisor diante de um problema não-estruturado pode assumir as atitudes pessimista ou otimista, utilizar algoritmos de apoio à decisão, considerando a subjetividade dos valores do decisor, ou utilizar a teoria da utilidade para verificar qual alternativa, em seu entender, agrega mais valor.

As decisões semi-estruturadas têm lugar entre esses dois casos extremos e nelas o conceito de Apoio à Decisão tem maior aplicação. Esses tipos de problemas podem ser resolvidos pelos decisores com o apoio de computadores, o que requer uma interação entre decisores e sistemas baseados em computadores.

A abordagem multicritério tem como característica considerar que (Gomes *et al*, 2002):

- Os processos decisórios são complexos e neles existem vários atores envolvidos que definem os aspectos relevantes do processo de decisão;
- Cada ator tem a sua subjetividade (juízo de valor);
- Reconhece os limites da objetividade e considera as subjetividades dos atores;
- Tem como pressuposto que o problema não está claramente definido nem bem estruturado.

O processo que envolve a tomada de decisão é, na maioria das vezes, multidisciplinar, multiobjetivo e multicritério, o que praticamente impossibilita ao planejador chegar sozinho a uma decisão que atenda ao interesse de todos, que seja livre de preconceitos e que não privilegie algumas forças de mercado. Portanto, é necessária a formulação de uma gama de questões e opções aceitáveis para que se chegue a uma solução adequada, que muitas vezes não é a única. A função dos sistemas que apóiam a tomada de decisão é justamente auxiliar e otimizar todo esse processo, a fim de que a melhor solução possível seja encontrada.

2.3 Apoio Multicritério à Decisão

A metodologia Multicritério de Apoio à Decisão objetiva dar, a quem necessita tomar uma decisão, ferramentas suficientes para habilitá-lo a avançar na solução de problemas em que vários pontos de vista, até mesmo contraditórios, devem ser levados em consideração (Vincke, 1992).

A tomada de decisão, processo de escolha entre alternativas, apresenta como componentes: dados, modelos de decisão, ambiente decisório e pessoas, cada um influenciando diretamente a alternativa escolhida. A análise multicritério, desenvolvida no ambiente da investigação operacional, objetiva auxiliar analistas e decisores em situações nas quais existe a necessidade de identificação de prioridades sob a ótica de múltiplos critérios, o que ocorre normalmente quando coexistem interesses em conflito.

De acordo com Bana e Costa (1988) para ser capaz de tomar decisões face a circunstâncias progressivamente mais complexas, será preciso envolver, manter e continuamente rever e atualizar todo um repertório de pontos de vista, valores e opiniões. Como diz Roy (1996), a decisão global elabora-se de uma forma mais ou menos caótica, com base na confrontação permanente de preferências de diferentes agentes (atores), ao longo de interações concomitantes e/ou sucessivas que têm lugar entre os intervenientes no seio dos campos de interesse e poder em que se movimentam e agem. O desenrolar dessas confrontações e interações constitui o processo de decisão.

2.3.1 Problemáticas de referência

No contexto multicritério de apoio à decisão, faz-se necessária a definição de problemáticas a fim de estruturar o problema, definindo os tipos de resultados que são pretendidos, isto é, como o analista de decisão pode conceituar a forma de abordagem.

Segundo Roy (1996), as problemáticas podem ser classificadas como de escolha, classificação, ordenação e descrição.

A problemática de escolha $P.\alpha$ (figura 2.1) ajuda a escolher um subconjunto A' de A , tão pequeno quanto possível, direcionando a investigação para encontrar a “melhor” ação ou desenvolver um processo de seleção. O resultado dessa problemática indica a decisão que poderia ser tomada ou propõe uma seleção baseada numa metodologia que pode ser usada repetidamente para identificar as melhores ações. Nessa problemática, os elementos de A são comparados e é eliminado o maior número de ações possíveis. O ideal seria eliminar a todas, ficando com apenas a ação, que fosse a mais satisfatória, porém isso pode não ser possível, principalmente quando são tratados assuntos conflitantes, ou as consequências de cada ação não possam ser medidas com precisão de forma a encontrar uma única opção.

Assim, a problemática $P\alpha$ consiste em encontrar um subconjunto de A' de A , onde A' deve ser o menor possível, e o decisor prefere algumas ações em A' , ou pelo menos as ações em A' seriam consideradas boas o suficiente para eliminar A/A' por essas considerações.

Quando A' tem mais de uma ação, esses elementos são considerados equivalentes, e melhor que qualquer ação que não está em A' , é o que pode ser considerado de múltiplos ótimos.

A problemática de classificação $P.\beta$ (figura 2.2) ajuda a classificar as ações de acordo com normas ou construir um procedimento de alocação, esclarecendo a decisão por uma triagem resultante de uma classificação de cada ação segundo uma categoria. As diferentes categorias são definidas *a priori* a partir de normas aplicáveis ao conjunto de ações. O resultado é a aceitação ou rejeição de certas ações, ou o fornecimento de recomendações mais complexas, ou se pode ter como resultado uma proposta de adotar uma classificação baseada numa metodologia, que pode ser usada repetidamente para colocar as ações nas categorias.

Nessa problemática tentam-se estabelecer categorias como: certamente bom, certamente falso, provavelmente satisfatório, definitivamente ruim, definitivamente falso. Em geral, caracterizam-se os membros em diversas categorias como ações a serem aceitas, rejeitadas, que particione A para serem usadas em recomendações. Para ser útil ao decisor, cada categoria deve ser definida como uma função de tratamento que será dada às ações dentro das categorias.

A classificação considerada na problemática $P\beta$, é uma classificação de cada ação para uma das categorias desenvolvidas diretamente para a decisão. Cada uma das categorias básicas deve possuir uma definição intrínseca, isto é, essa definição não se aplica às outras categorias.

A problemática de ordenação $P\gamma$ (figura 2.3) ajuda a ordenar as ações em ordem decrescente de preferência, classificando as ações de A , determinando uma ordem definida dos subconjuntos das ações de A , que podem ser consideradas “suficientemente satisfatórias”,

tendo como base o modelo de preferências, sendo essa ordenação completa ou parcial. O resultado da aplicação sugere uma ordem parcial ou completa, formando classes que contêm ações consideradas equivalentes e propõe adotar uma metodologia baseada no procedimento de ordenação, que pode ser usado repetidamente.

Essa problemática tenta usar informações disponíveis, tanto quanto possíveis, para comparar os elementos de A entre eles, para determinar as classes do subconjunto A' de A e uma ordenação dessas classes. Essa ordenação deve refletir um certo grau de importância ou prioridade que o decisor dá a cada elemento de A'. A ordenação é designada para ajudar o decisor a refletir sobre o problema e para guiar a discussão com outros decisores.

A problemática de descrição P.δ ajuda a descrever as ações e as suas conseqüências em uma maneira formalizada e sistemática, ou desenvolver um procedimento cognitivo. Descreve as ações de A e suas conseqüências, fazendo com que as informações relatadas por ações potenciais explícitas ajudem o decisor a descobrir, entender ou fazer evoluir as ações, enquanto guarda na mente que A pode desenvolver-se. Como resultado, descreve ações sistemática e formalmente, com seus desdobramentos em termos de qualidade e quantidade, e propõe uma metodologia baseada no procedimento cognitivo, a qual pode ser usada repetidamente.

É utilizada quando o cliente espera alguma descrição completa e rigorosa das ações imaginadas como futuras possibilidades para um ou mais decisores e, portanto, as conseqüências dessas ações deverão ser consideradas.

Vale ressaltar a possibilidade de que nenhuma dessas definições seja apropriada exatamente para o estágio atual do problema. Nesses casos, o analista pode precisar utilizar mais de uma delas.

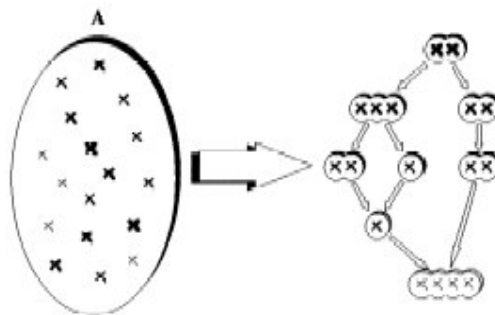


figura 2.1-Problemática de escolha

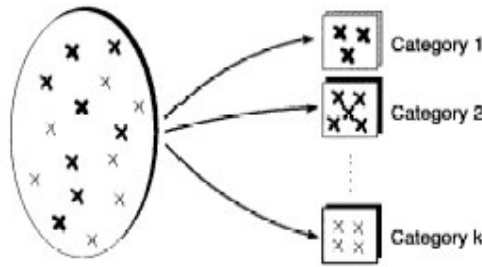


figura 2.2- Problemática de classificação

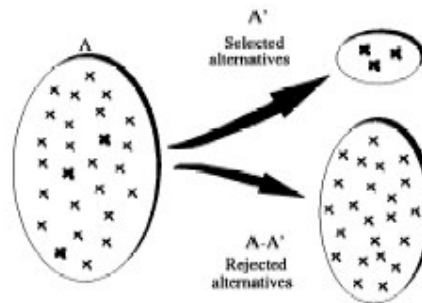


figura 2.3- Problemática de ordenação

2.3.2 Modelagem de preferências

As Preferências são essenciais na vida dos indivíduos como também na das comunidades. A modelagem de preferências é um passo indispensável não só na tomada de decisões mas também na economia, sociologia, psicologia, pesquisa operacional, etc (Vincke, 1992).

Num processo decisório, o decisor pode expressar suas preferências por meio de sistemas de relações de preferência. Logo, torna-se necessário estabelecer certas condições que possam expressar as preferências do decisor, quando da comparação de duas ações potenciais.

Uma relação binária expressa as preferências do decisor e faz a ligação entre dois objetos ou descrevem a presença ou ausência de certa propriedade (Roy, 1996).

Uma relação binária sobre um conjunto X é uma partição do conjunto $X \times X$ de pares ordenados. A partição cria dois subconjuntos de $X \times X$: o primeiro, designado por \mathfrak{R} , é o subconjunto dos pares que estão na relação; o segundo, $\mathfrak{R}^c = \{XX\} - \mathfrak{R}$, é o subconjunto dos pares que não estão na relação (Gomes *et al*, 2004).

Algumas propriedades das relações binárias segundo Gomes *et al* (2004) são:

- Reflexividade: uma relação binária é reflexiva se para todo $a \in X$ se tem $(a,a) \in \mathfrak{R}$;

- Irreflexividade: uma relação binária é irreflexiva se para todo $a \in X$ se tem $(a,a) \notin \mathfrak{R}$;
- Simetria: uma relação binária é simétrica se para todo $(a,b) \in \mathfrak{R}$ supõe que também $(b,a) \in \mathfrak{R}$;
- Assimetria: uma relação binária é assimétrica se para todo $(a,b) \in \mathfrak{R}$, então $(b,a) \notin \mathfrak{R}$;
- Transitividade: uma relação binária é transitiva se $(a,b) \in \mathfrak{R}$ e $(b,c) \in \mathfrak{R}$ implicam $(a,c) \in \mathfrak{R}$.

2.3.2.1 Sistemas de relações de preferências

De acordo com Vincke (1992), quando o decisor precisa comparar duas ações a e b de um determinado conjunto de ações A , ele opta por um desses caminhos:

- Preferência por uma das duas ações;
- Indiferença entre as ações;
- Recusa-se ou mostra-se inabilitado a compará-las.

Dessa maneira, foram definidas as relações de preferência denotadas por P , indiferença, denotadas por I , e incomparabilidade denotadas por J , que são encontradas na maior parte dos estudos de modelagens de preferências (Vincke, 1992).

Roy (1996) vai mais adiante e define quatro situações que definem o sistema básico de relações de preferências (BSPR- *Basic Systems of Preference Relation*):

- Situação de Indiferença (I), em que há apenas uma possibilidade: a e b possuem o mesmo valor;
- Situação de Preferência Estrita (P), em que há duas possibilidades: ou a é estritamente preferível a b ou vice-versa;
- Situação de Preferência Fraca (Q), em que há duas possibilidades: ou a é fracamente preferível a b ou vice-versa;
- Situação de Incomparabilidade (R), em que há apenas uma possibilidade: a e b são incomparáveis.

Cada uma dessas situações está definida na Tabela 2.1.

A teoria da decisão clássica introduz somente duas situações: indiferença e preferência Estrita, sendo o axioma correspondente a essa teoria mais restritivo. Roy (1996) enfatiza que existem situações nas quais o analista ou o decisor tem várias razões para evitar o dilema da indiferença ou preferência estrita quando tem de comparar duas ações:

- Não estar hábil a decidir: os dados seriam subjetivos ou mal coletados;
- Não saber como decidir: o analista não tem a sensibilidade das preferências do decisor ou o decisor está inacessível ou ausente no momento;

- Não deseja decidir: o decisor opta por continuar o desenvolvimento dos estudos para uma definição posterior, quando terá mais condições de realizá-la.

O sistema consolidado de relações de preferências (CSPR – Consolidate Systems of Preference Relation) introduz outras situações que são caracterizadas por agrupamentos ou combinações das relações básicas que são apresentados na Tabela 2.2

Tabela 2.1 – Situações básicas de preferência para comparar duas ações potenciais

Situação	Definição	Propriedades
Indiferença (I)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a equivalência entre as duas ações.	Reflexiva: $a I a$ Simétrica: $a I b$ e $b I a$
Preferência estrita (P)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma (identificada) das duas ações.	Não-reflexiva Assimétrica: $a P b$ ou $b P a$
Preferência fraca (Q)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que invalidem a preferência estrita em favor de uma (identificada) das duas ações, mas essas razões são insuficientes para se deduzir uma preferência estrita em favor da outra ou uma indiferença entre essas duas ações; portanto, não é possível diferenciar nenhuma das duas situações precedentes.	Não-reflexiva Assimétrica: $a Q b$ ou $b Q a$
Incomparabilidade (R)	Corresponde à ausência de razões claras e positivas para justificar qualquer das três situações precedentes.	Não-reflexiva Simétrica: $a R b$ e $b R a$

(Adaptado de Roy (1996))

De acordo com Gomes *et al* (2004), as relações binárias definidas compõem um sistema de relação de preferência de um decisor em relação ao conjunto de alternativas possíveis se:

- Podem ser consideradas como **representações das preferências** do decisor sobre as alternativas que constituem o conjunto A;
- São **exaustivas**, isto é, para qualquer par de alternativas do conjunto A verifica-se, pelo menos, uma das nove relações apresentadas;
- São **mutuamente excludentes**, ou seja, para um par de alternativas, nunca se verificam duas relações distintas.

Tabela 2.2- Situações consolidadas de preferências para comparar duas ações potenciais

Situação	Definição	Propriedades
Não – preferência (\sim)	Corresponde a uma ausência de razões claras e positivas para justificar a preferência estrita ou a preferência fraca em favor de uma das ações e, portanto, consolida as situações de indiferença ou de incomparabilidade, sem ser capaz de diferenciá-las.	$a \sim b \Leftrightarrow aIb$ ou aRb Simétrica
Preferência (\succ)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem a preferência estrita ou a preferência fraca em favor de uma (identificada) das duas ações e, portanto, consolida as situações de preferência estrita e preferência fraca, sem, no entanto, ser capaz de diferenciação entre elas.	$a \succ b \Leftrightarrow aPb$ ou aQb Assimétrica
J – Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem a preferência fraca, sem se preocupar o quão fraca em favor de uma (identificada) das duas ações, ou no limite, a indiferença entre elas, mas sem que nenhuma separação significativa seja estabelecida entre as situações de preferência fraca e indiferença.	$aJb \Leftrightarrow aQb$ ou aIb Nem simétrica, nem assimétrica.
K – Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem a preferência estrita em favor de uma (identificada) das duas ações ou a incomparabilidade entre elas, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita e incomparabilidade.	$aKb \Leftrightarrow aPb$ ou aRb Nem simétrica, nem assimétrica.
Sobreclassificação (<i>Outranking</i>)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem tanto a preferência como a J-preferência em favor de uma (identificada) das duas ações, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença. Uma ação a sobreclassifica b (aSb), se a é considerada ao menos tão boa quanto b .	$aSb \Leftrightarrow aPb$ ou aQb ou aIb

(Adaptado de Roy (1996))

2.3.2.2 Estrutura de preferências

Com base nas relações binárias apresentadas e em suas propriedades, é possível expressar as principais estruturas de preferência sobre um conjunto de alternativas A.

Essas estruturas podem ser organizadas em relação à ausência ou à presença de incomparabilidade. As Tabelas 2.3 e 2.4 apresentam um resumo dessas estruturas.

Tabela 2.3- Estruturas Básicas de Sistemas de Relações de Preferências sem Incomparabilidade

Estrutura	Representação Funcional (g definida em A, $\forall a, b \in A$)	Propriedades das Relações	Observações
Classes de equivalência	Não forma uma ordem; as ações são equivalentes	I: Simétrica e transitiva; \sim : Simétrica e transitiva	Sistemas de relação com apenas uma relação simétrica.
Pré-ordem completa	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b)$ $a I b \Leftrightarrow g(a) = g(b)$	P: Transitiva e assimétrica; I: Reflexiva, simétrica e transitiva	Corresponde à noção intuitiva de classificação com possibilidade de empate.
Ordem completa	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b)$	P: Transitiva e assimétrica;	Esse tipo de estrutura ocorre numa situação em que os elementos de um conjunto A podem ser ordenados do “melhor” para o “pior” sem a possibilidade de empate por similaridade,
Quase-ordem	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q$ $a I b \Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q$ q-limite de indiferença	P: Transitiva e assimétrica; I: Reflexiva e simétrica;	Existência do limite de indiferença, abaixo do qual o decisor não consegue explicar a diferença ou se recusa a dar a preferência.
Ordem de intervalo	$a P b \Leftrightarrow g(b) + q(g(b)) < g(a)$ $a I b \Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q(g(b))$ e $g(b) - g(a) \leq q(g(a))$ q(q(.))-limite de indiferença variável	P: Transitiva e assimétrica; I: Reflexiva e simétrica	O limite de indiferença varia ao longo da escala de valores.
Pseudo-ordem	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + p(g(b))$ $a Q b \Leftrightarrow q < g(a) - g(b) \leq p(g(b))$ $a I b \Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q$ q-limite de indiferença q(q(.))-limite de indiferença variável	P e Q: Transitiva e assimétrica; I: Reflexiva e simétrica;	Existência de uma zona intermediária entre a preferência e a indiferença, na qual o decisor hesita entre as duas diferentes respostas ou dá respostas contraditórias, dependendo de como a questão lhe é apresentada. Essa estrutura permite o limite de indiferença e preferência.

(Adaptado de Vincke (1992), Roy (1996) e Gomes *et al* (2004))

Tabela 2.4- Estruturas Básicas de Sistemas de Relações de Preferências com Incomparabilidade

Estrutura	Representação Funcional (g definida em A, $\forall a,b \in A$)	Propriedades das Relações	Observações
Pré-ordem parcial	$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b)$ $aIb \Leftrightarrow g(a) = g(b)$	P:Assimétrica e transitiva; I:Simétrica, transitiva e reflexiva; R:Simétrica e não-reflexiva.	Esse tipo de estrutura ocorre numa situação em que os elementos de um conjunto A podem ser ordenados do “melhor” para o “pior” com a possibilidade de empate por similaridade. R não é vazio.
Ordem parcial	$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b)$	P:Assimétrica e transitiva; I:Simétrica, transitiva e reflexiva R: Simétrica e não-reflexiva	Esse tipo de estrutura ocorre numa situação em que os elementos de um conjunto A podem ser ordenados do “melhor” para o “pior” sem a possibilidade de empate por similaridade. R não é vazio

(Adaptado de Vincke (1992), Roy (1996) e Gomes et al (2004)).

2.3.3 Conceitos básicos

2.3.3.1 Critérios

Um critério g é definido por Gomes *et al* (2002) como uma função com valores reais definida sobre um conjunto de ações potenciais A, de tal sorte que é possível pensar ou descrever o resultado da comparação entre duas ações a e b, segundo esse critério, tendo como base a comparação de dois números g(a) e g(b). Ao critério g é associada, portanto, uma escala E_g, constituída de um conjunto ordenado de valores reais, possíveis de ser assumido por essa função. Dessa forma, um critério g pode ser visto como um modelo a partir do qual é possível, por exemplo, fundamentar uma proposição do tipo:

$$g(b) > g(a) \Rightarrow bPa$$

em que P é uma relação binária com conteúdo semântico “é preferível a, relativamente às dimensões levadas em conta na definição de g”.

Para realizar a escolha sobre um conjunto de ações potenciais A, o decisor fará sua análise por diferentes eixos de avaliação, ou eixos de significância que, segundo Gomes *et al* (2002), são elementos direcionados da análise e devem ser estabelecidos com base na

modelagem de conseqüências, de forma a representar as dimensões relevantes do problema. Baseado nesses eixos é que será possível fazer comparações entre as ações potenciais.

Quando se acrescenta às características de um problema um mínimo de informação relativo às preferências do decisor, esse mínimo é denominado atributo ou critério de decisão, que pode ser quantitativo ou qualitativo.

Os critérios quantitativos são avaliados por escalas numéricas bem definidas, enquanto os qualitativos são avaliados por escalas verbais pré-estabelecidas.

Segundo Gomes *et al* (2002), na construção de um critério, o analista de decisão deve preocupar-se com os seguintes aspectos relevantes:

- Os eixos de significância, com base nos quais são construídos os critérios, devem ser familiares e bem compreendidos por todos os atores do processo de decisão, mesmo que haja alguma divergência com respeito à importância relativa de cada um deles. É de grande importância que os critérios associados aos eixos de significância sejam expressos em unidades físicas claras;
- O processo que define a avaliação de cada ação, segundo um dado critério, deve ser compreensível e transparente;
- A escolha de um critério deve levar em conta a qualidade dos dados que são usados para avaliar as diferentes ações, segundo tal critério. Quando existem imprecisões, incertezas ou indeterminações nesses dados, a forma de construção de um critério não lhes pode pretender associar informações além de sua capacidade.

De acordo com Vincke (1992) os critérios podem ser classificados como:

- Critério Verdadeiro: se a estrutura de preferência é uma estrutura de pré-ordem completa, na qual qualquer diferença implica uma preferência estrita;
- Semi-Critério: se a estrutura de preferência é uma estrutura de semi-ordem (modelo de limite constante, existe uma zona de indecisão constante entre a indiferença e a preferência estrita);
- Critério de Intervalo: se a estrutura de preferência é uma estrutura de intervalo (modelo de limite variável, existe uma zona de indecisão variável ao longo da escala, entre a indiferença e a preferência estrita);
- Pseudocritério: se a estrutura de preferência é uma estrutura de pseudo-ordem (modelo de limite duplo, existe a preferência fraca entre a indiferença e a preferência estrita).

Vincke (1992) fala que a parte mais delicada da formulação de um problema de decisão se refere à representação dos diferentes pontos de vista (aspectos, fatores, características) com a ajuda de uma família de critérios $F = \{g_1, \dots, g_j, \dots, g_n\}$.

2.3.3.2 Relação de dominância

A relação de dominância é muito bem conceituada por Vincke (1992) como sendo: dada duas ações a e b do conjunto A , a domina b (aDb) se:

$$g_j(a) \geq g_j(b), \quad j=1,2,\dots,n, \text{ em que pelo menos uma das inequações é estrita.}$$

A relação de dominância tem uma estrutura de ordem parcial estrita (relação assimétrica e transitiva). Se há dominância de a sobre b , então há uma unanimidade de pontos de vista em favor de a . Logo, essa relação é geralmente pouco encontrada, isto é, verificada em poucos pares quando não é vazia (Vincke, 1992).

2.3.3.3 Ação eficiente

A ação a é eficiente se, e somente se, nenhuma outra ação do conjunto A a domina. O conjunto de ações eficientes (que pode ser o próprio A quando a relação de dominância é vazia) é geralmente considerado o conjunto de ações interessantes, mesmo quando às vezes há boas razões para definitivamente não rejeitar ações não-eficientes (Vincke, 1992).

2.3.3.4 Taxa marginal de substituição

Denomina-se taxa marginal de substituição do critério g_i em relação ao critério g_j , para a alternativa a , a quantidade $S_{ij}(a)$ que deve ser incrementada ao desempenho do critério g_j da alternativa a , a fim de compensar a perda de uma unidade de desempenho do critério g_i da alternativa a . Dessa forma, se existem duas alternativas, a e b , com o mesmo desempenho em todos os critérios, exceção feita a dois critérios, g_1 e g_2 , em que $g_2(a) = g_2(b) - 1$ e $g_1(a) = g_1(b) + S_{21}(a)$, então pode-se concluir que as alternativas a e b são indiferentes (Gomes *et al*, 2004).

Os pesos ou coeficientes de ponderação dos critérios é que definem as taxas marginais de substituição (ou de compensação) que são usadas em modelos compensatórios, isto é, em modelos cuja diminuição do desempenho de um critério pode ser compensada com a melhora do desempenho de outro.

2.4 Métodos Multicritério

Segundo Vincke (1992), existem alguns métodos e técnicas multicritério em que a adoção de um desses modelos é normalmente justificada por argumentos ditados pela natureza do problema a analisar. Dentre eles, podem-se identificar duas famílias de abordagens das metodologias de suporte à decisão:

- Escola Americana: geram um critério único de síntese, em que onde se destacam a Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multiple Attribute Utility Theory – MAUT*) e o Processo Analítico de Hierarquização (*Analytic Hierarchy Process – AHP*);

- Escola Européia: os chamados métodos de sobreclassificação (*outranking methods*), em que se destacam *ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité)* e *PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)*.

Há outras classificações para os métodos na literatura. Os métodos podem ser direcionados para problemas discretos ou contínuos, em função do conjunto de alternativas. Os métodos anteriormente citados podem ser aplicados para problemas discretos. Para problemas contínuos tem-se os métodos de programação linear multiobjetivo (Climaco *et al*, 2003).

2.4.1 Teoria da Utilidade Multiatributo - MAUT

Proveniente da Escola Americana, consiste na agregação de diferentes atributos com critério único de síntese. Esse método de agregação dos critérios equivale a uma compensação entre os mesmos, o que sugere, segundo Vincke (1992), uma quantidade que contrabalance a desvantagem de um em relação a uma vantagem do outro. Por esse motivo, é chamado de método compensatório.

O objetivo da teoria da utilidade, segundo Campello de Souza (2002), é desenvolver um modelo matemático que permita representar a desejabilidade do decisor pelos bens que poderá obter. A idéia básica da teoria da utilidade é quantificar essa desejabilidade, associando aos bens um valor que represente um critério de escolha por parte do decisor.

Em um problema de decisão, quando se procura estabelecer um processo de escolha entre mais de uma alternativa, normalmente se busca maximizar um objetivo. Isso envolve determinar uma medida sobre as conseqüências do problema.

A teoria da utilidade permite avaliar as conseqüências por meio de um processo de elicitação de preferências que busque incorporar ao problema as escolhas do decisor e seu comportamento em relação ao risco. Esse processo possibilita a criação de uma nova escala denominada de escala de utilidade, que estabelece para cada conseqüência um valor de utilidade. O processo de escolha será então realizado com base nessa nova escala, que agrega os aspectos de incerteza inerente ao problema de decisão (Gomes *et al*, 2002).

A solução do problema não se resume à determinação da função utilidade, ainda que essa etapa permita uma boa estruturação do problema na mente do decisor.

A seqüência da solução do problema envolve a maximização do valor esperado da função utilidade, obtida da função utilidade e da distribuição de probabilidade em relação à conseqüência considerada (Gomes *et al*, 2002).

Em 1738, Bernoulli *apud* Campello de Souza (2002), abordou o problema da utilidade como o valor que o indivíduo, o decisor, atribuisse a um bem:

“(...) a determinação do valor de um item deve ser baseada não no seu preço mas na utilidade que ele proporciona. O preço do item é dependente da coisa ela mesma e é igual para todo mundo; a utilidade, entretanto, é dependente das circunstâncias particulares da pessoa que faz a estimativa. Então não há nenhuma dúvida de que um ganho de mil ducados é mais significativo para um homem pobre do que para um homem rico, embora ambos ganhem a mesma quantidade.”

A função utilidade multiatributo (MAUT) incorpora à teoria da utilidade a questão do tratamento de problemas com múltiplos objetivos, ou seja, múltiplos atributos.

Seja a uma alternativa viável e A o conjunto de todas as alternativas viáveis. A cada alternativa a de A está associada uma consequência à qual se relacionam n atributos avaliados por $X_1(a), \dots, X_n(a)$. Os n atributos relacionam a alternativa a de A a um ponto no espaço de consequências n -dimensional, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

O problema do decisor consiste em escolher a alternativa a de A que o deixe mais feliz com o resultado $X_1(a), \dots, X_n(a)$. Dessa forma, é necessário um índice que combine $x_1(a), \dots, x_n(a)$ em um índice de desejabilidade ou valor, que no contexto de MAUT será a função utilidade.

A função utilidade u , definida sobre o espaço de consequências, deverá ter a propriedade que: $u(x_1, \dots, x_n) \geq u(x_1', \dots, x_n') \Rightarrow (x_1, \dots, x_n) \succeq (x_1', \dots, x_n')$.

O problema do analista é determinar a função utilidade $u(x) = u(x_1, x_2, \dots, x_n)$ que agregue as funções utilidades dos n critérios considerados: $u(x_1, x_2, \dots, x_n) = f[u_1(x_1), u_2(x_2), \dots, u_n(x_n)]$.

A determinação da função utilidade multiatributo emprega os conceitos relacionados à teoria da utilidade unidimensional, com a introdução de novos conceitos para a determinação da função utilidade multiatributo que são o de independência em utilidade e independência aditiva.

Independência em utilidade

Um critério Y é independente em utilidade de um critério Z quando preferências condicionais por loterias em Y para um dado z não dependem do nível particular de z . (Gomes *et al*, 2002).

Independência aditiva

Os atributos $X = \{ X_1, X_2, X_3, \dots, X_n \}$ são independentes aditivamente se as preferências sobre loterias dependem apenas das probabilidades marginais dos atributos $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, mas não da probabilidade conjunta desses atributos (Keeney & Raiffa, 1976).

2.4.2 Processo Analítico de Hierarquização – AHP

O AHP foi um dos primeiros métodos desenvolvidos no ambiente das Decisões Multicritério Discretas, sendo talvez o mais usado no mundo.

O método AHP é questionado constantemente porque, em sua formulação tradicional, ocorre a inversão de ordem, ou seja, a posição relativa das alternativas pode ser alterada, dependendo da introdução ou remoção de uma alternativa antes não considerada (Gomes *et al*, 2004).

Nesse método, o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, o que facilita sua compreensão e avaliação. Determina, de forma clara, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao finalizar o método.

Segundo Vargas (1990), esse método é baseado no princípio no qual as experiências e o conhecimento das pessoas é, ao menos, tão valioso quanto os dados usados para tomar a decisão.

O estudo do processo utilizado pelo método AHP pode ser dividido em duas etapas: estruturação hierárquica do problema de decisão e modelagem do método propriamente dito.

Os resultados são apresentados numa matriz de comparação por pares de alternativas. O processo de comparação é por meio de uma escala cardinal de razão, a qual resulta numa escala relativa de medida de prioridades ou pesos.

2.4.3 Métodos ELECTRE

Os métodos ELECTRE fazem parte dos denominados Métodos de Sobreclassificação, pois eles têm, como conceito teórico central, as relações de sobreclassificação. Esses métodos diferenciam-se entre si pela problemática que tentam resolver, pelas informações inter e intracritérios utilizadas e pela quantidade de relações de sobreclassificação construídas e pesquisadas (Gomes *et al*, 2004). Outros temos têm sido utilizados para sobreclassificação, na língua portuguesa. Dentre estes descam-se: prevalência, subordinação e síntese, e superação.

O método ELECTRE é de origem francesa e significa eliminação e eleição traduzindo a realidade (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*).

De acordo com Olson (1996), a idéia fundamental desse método é que a alternativa pode ser eliminada quando é dominada por outras alternativas numa determinada condição.

O fundamento do método ELECTRE é que, sendo N um conjunto de possíveis alternativas e $g_i(a)$ a avaliação de qualquer umas dessas alternativas, segundo um critério i ($i=1,2,3,...,n$). Aplicando a relação de sobreclassificação aos elementos do conjunto N , pode-se definir que uma alternativa a supera a alternativa b (aSb) se, a for, pelo menos, tão boa

quanto b . Essa relação de sobreclassificação, que não é necessariamente transitiva, aparece como uma possível generalização do conceito de dominância. O que se procura identificar, no contexto de um problema de decisão, é se existe ou não uma relação de dominância entre duas alternativas, ou seja, se o risco de considerar verdadeira a afirmação “a alternativa a é pelo menos tão boa quanto a alternativa b ” é aceitável. As considerações que conduzem à aceitação da relação aSb podem ser expressas pelos conceitos de concordância e discordância (Gomes *et al*, 2004).

De acordo com Gomes *et al* (2002), esses conceitos são definidos como:

- Concordância: consiste no fato de um subconjunto significativo dos critérios considerar que a alternativa a é (fracamente) preferível à alternativa b ;
- Discordância: consiste no fato de que não existem critérios em que a intensidade da preferência de b em relação a a ultrapassem um limite aceitável.

Pode-se notar que os conceitos apresentados vão estabelecer limites para a validação ou não da hipótese aSb .

O índice de concordância é definido por Olson (1996) como a proporção de pesos na qual a alternativa a é preferível a b , e o índice de discordância provê uma medida da desvantagem da alternativa a para a alternativa b , e é definido como a maior distância relativa entre as alternativas a e b , em que b é preferível a a .

Para cada versão do ELECTRE, existe uma maneira de calcular esses índices.

2.4.3.1 ELECTRE I

O método ELECTRE I é o primeiro método da família de métodos que utilizam o conceito de sobreclassificação e foi construído para problemáticas de escolha (P.α.). O propósito desse método é obter um subconjunto de N alternativas, no qual qualquer alternativa pertencente a esse subconjunto N não é sobreclassificada por nenhuma outra alternativa também pertencente a N , e para toda alternativa que não pertence ao subconjunto N , existe uma alternativa em N que a sobreclassifica. O último subconjunto (que deve ser construído o menor possível) é representado por alternativas de melhor compromisso com o objetivo do problema.

O método usa os índices de concordância $C(a,b)$, e discordância $D(a,b)$, e dos respectivos limiares de concordância c , e discordância d , para determinar o subconjunto de alternativas viáveis. Para cada critério, é atribuído um peso p_j que cresce com a importância relativa do critério, e para cada par ordenado (a,b) de ações é associado o seguinte índice de concordância (Vincke, 1992):

$$C(a,b) = \frac{1}{P} \sum_{j: q_j(a) \geq g_j(b)} p_j \quad \text{onde} \quad P = \sum_{j=1}^n p_j \quad (2.1)$$

O índice de concordância varia entre os valores 0 e 1 e indica a medida na qual a alternativa a sobreclassifica a alternativa b (é preferível ou indiferente), calculado em função do peso dos critérios.

Normalmente, os pesos são definidos de forma que a soma seja igual a 1. Posto isso, o denominador na fórmula 2.1 reduz-se a 1, facilitando os cálculos. Além disso, $C(a,b)=1$ se, e somente se, a alternativa a supera a alternativa b em todos os critérios e, analogamente, $C(a,b)=0$ se, e somente se, b supera a em todos os critérios.

Por outro lado, entre os critérios podem existir alguns para os quais a alternativa b sobreclassifica a alternativa a e isso configura a discordância. O índice de discordância provê uma medida da desvantagem da alternativa a sobre a alternativa b , isto é, mede a força dos critérios em favor de b . O índice é definido como a maior distância relativa entre as alternativas a e b , em que b é preferível a a , e varia entre os valores de 0 e 1.

O índice de discordância pode ser calculado pela fórmula abaixo (Vincke, 1992):

$$D(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(a) \geq g_j(b) \quad , \quad \forall j \\ \frac{1}{\delta} \max_j [g_j(b) - g_j(a)] & \text{onde } \delta = \max_{c,d,j} [g_j(c) - g_j(d)] \end{cases} \quad (2.2)$$

$g_j(c)$ = maior avaliação no critério j

$g_j(d)$ = menor avaliação no critério j

Importa salientar a necessidade de normalizar as avaliações dos critérios, de modo que os índices de discordância sejam comparáveis. No entanto, os coeficientes de concordância são puramente ordinais, no sentido de que seu valor depende somente dos pesos e das pré-ordens de sobreclassificação de cada critério, e não das avaliações de cada alternativa em relação a cada critério (Gomes *et al*, 2004).

Para a construção das relações de sobreclassificação, devem ser estabelecidos um limiar de concordância (c), que é relativamente grande, e um limiar de discordância (d), que é relativamente pequeno. Assim, a alternativa a sobreclassifica a alternativa b (aSb) se, e somente se, (sse):

$$aSb \quad \text{sse} \quad \begin{cases} C(a,b) \geq c \\ D(a,b) \leq d \end{cases} \quad (2.3)$$

Como os índices de concordância e discordância variam entre 0 e 1, os limiares c e d também devem ser definidos nesse intervalo.

Com os resultados desses índices, segue-se a etapa de exploração da relação de sobreclassificação, que consiste em encontrar um subconjunto de N alternativas no qual toda alternativa que não pertence ao subconjunto N é superada ao menos por uma alternativa de N , e todas as alternativas de N não são comparáveis entre si. Esse subconjunto é denominado de *kernel*.

Uma análise mais refinada do *kernel* dever ser realizada, ou seja, uma análise de sensibilidade, mediante variações nos pesos dos critérios e nos limiares de concordância e discordância do modelo (p_j , c e d) para verificar variações na recomendação a partir de mudanças dos parâmetros.

2.4.3.2 ELECTRE IS

O método ELECTRE IS é uma generalização do ELECTRE I. Esse método habilita o uso de pseudocritérios (critérios com limiares).

Dado um conjunto finito de alternativas avaliadas em relação a uma família coerente de critérios quantitativos ou qualitativos, o ELECTRE IS apóia o usuário no processo de seleção de uma alternativa ou um subconjunto de alternativas, sendo indicado, assim como o ELECTRE I, para problemáticas de escolha (P.α.).

O objetivo principal do método é a determinação do *kernel* por meio da agregação das preferências parciais do decisor, exploradas por uma relação de sobreclassificação.

2.4.3.3 ELECTRE II

O método ELECTRE II pode ser considerado um aprimoramento do método ELECTRE I. Seu objetivo é a busca da solução da problemática γ ($P\gamma$ – esclarecer a decisão por meio de uma ordenação das alternativas. É o método mais usado entre os métodos de sobreclassificação.) (Gomes *et al*, 2004)

Os conceitos de concordância e discordância assemelham-se bastante aos utilizados no ELECTRE I; entretanto, nele são incluídos dois limiares de concordância c_1 e c_2 , sendo que $c_1 > c_2$, e dois limiares de discordância, d_1 e d_2 , sendo que $d_1 < d_2$, estabelecendo-se assim duas relações de sobreclassificação: uma forte (S^F) e uma fraca (S^f). Essas relações são calculadas pelas fórmulas abaixo (Vincke, 1992):

$$aS^Fb \quad sse \quad \begin{cases} C(a,b) \geq c_1 \\ \sum_{j: g_j(a) > g_j(b)} p_j > \sum_{j: g_j(a) < g_j(b)} p_j \\ (g_j(a), g_j(b)) \notin D_j, \quad \forall j \end{cases} \quad (2.4)$$

$$aS^f b \quad sse \quad \begin{cases} C(a,b) \geq c_2 \\ \sum_{j: g_j(a) > g_j(b)} p_j > \sum_{j: g_j(a) < g_j(b)} p_j \\ (g_j(a), g_j(b)) \notin D_j, \quad \forall j \end{cases} \quad (2.5)$$

A discordância é considerada para dois níveis, pela construção para cada critério j de dois conjuntos de discordância d_1 e d_2 tal que $d_{2j} \subset d_{1j}$.

Construído o modelo e encontradas as relações de sobreclassificação, passa-se à etapa de investigação: ordenação das alternativas da melhor para pior, que é encontrada com a construção de duas pré-ordens completas: uma ordem descendente, das melhores alternativas para as piores – Rank₁, e uma ordem ascendente, construída a partir das menos favoráveis em direção às melhores – Rank₂.

Para a construção do Rank₁ são seguidos os seguintes passos: a primeira posição do Rank₁ é obtida com a redução do circuito S^F , que determina um conjunto B de alternativas que não são fortemente sobreclassificadas por nenhuma outra. Dentro desse conjunto B, o circuito S^f é reduzido e é determinado um conjunto A de alternativas que não são fracamente sobreclassificadas por nenhuma alternativa de B. O conjunto A forma então a primeira posição da ordenação, e o procedimento é iniciado novamente com as alternativas restantes e repetido até que seja encontrada uma pré-ordem completa (Vincke, 1992).

A construção do Rank₂ é feita de maneira semelhante à do Rank₁, mas começando com a classe das piores alternativas (aquelas que não sobreclassificam nenhuma outra) e termina nas melhores alternativas. Ao final, sua ordem é invertida. A pré-ordem final Rank_M é obtida pelas médias das duas pré-ordens iniciais, de tal forma que:

$$Rank_M = \frac{Rank_1 + Rank_2}{2} \quad (2.6)$$

As duas pré-ordens obtidas geralmente não são as mesmas. Por exemplo, uma alternativa que não sobreclassifica nenhuma outra e não é sobreclassificada (em outras palavras, é difícil de ser comparada com as alternativas) irá aparecer como a primeira alternativa no Rank₁ e como a última no Rank₂. Logo, ao se construírem duas pré-ordens, é possível detectar alternativas problemáticas (Vincke, 1992).

Como no ELECTRE I, é recomendável fazer uma análise de sensibilidade, variando-se os pesos dos critérios e os limiares de concordância e discordância (p_j , c_1 , c_2 , d_1 e d_2).

2.4.3.4 ELECTRE III

O método ELECTRE III, assim como o ELECTRE II, tem como objetivo ordenar as alternativas da melhor para a pior, enquadrando-se na problemática decisória de preferência γ

(P γ). A diferença em relação ao ELECTRE II reside na agregação de famílias de pseudocritérios na modelagem, sendo assim mais sofisticado.

Tal método considera que, diante da necessidade de comparar duas alternativas, o decisor poderá reagir segundo uma das seguintes relações (Gomes *et al*, 2004):

- Preferência por uma delas;
- Indiferença entre elas;
- Recusa ou incapacidade de compará-las.

Essas relações são traduzidas por situações de preferência, indiferença e incomparabilidade. Portanto, o método ELECTRE III define os limiares de preferência (p), de indiferença (q) e de veto (v) (Vincke, 1992).

O início do processo de comparação utilizado por esse método ocorre a partir de cada par de alternativas (a, b), com o objetivo de autorizar a afirmação “ a sobreclassifica b ” (Gomes *et al*, 2004).

De acordo com Vincke (1992), o valor da relação de sobreclassificação do método ELECTRE III é caracterizado pela definição de um grau de sobreclassificação $S(a, b)$ associado com cada par ordenado (a, b) de alternativas, representando o grau de credibilidade de sobreclassificação de a sobre b . Esse grau toma valores entre 0 e 1, os quais crescem quanto mais forte for a sobreclassificação de b por a , sendo, portanto, uma função crescente de $g_j(a)$, $\forall j$ e uma função decrescente de $g_j(b)$, $\forall j$.

Assim como os demais métodos ELECTRE apresentados, calcula-se um índice de concordância entre as alternativas, com o intuito de construir uma matriz para cada critério.

O peso p_j deve ser associado com cada pseudocritério g_j , e o índice de concordância $C(a, b)$ para cada par ordenado (a, b) de alternativas é calculado como segue (Vincke, 1992):

$$C(a, b) = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^n p_j c_j(a, b), \quad \text{onde} \quad P = \sum_{j=1}^n p_j \quad (2.7)$$

em que, sendo q_j e p_j denotando os limiares de indiferença e preferência respectivamente, tem-se:

$$c_j(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a) + q_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \\ 0 & \text{se } g_j(a) + p_j(g_j(a)) \leq g_j(b) \\ \text{linear entre os dois} & \end{cases} \quad (2.8)$$

A figura 2.4 ilustra essa definição.

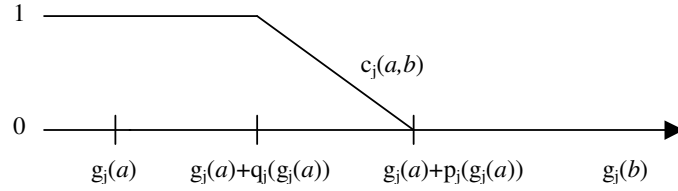


figura 2.4-Índice de concordância – Vincke (1992)

A adoção desse índice para o conjunto de critérios exclui a possibilidade de uma grande desvantagem sobre um critério poder ser compensada por um número menor de desvantagens sobre outros critérios (Gomes *et al*, 2004).

Observa-se que, se os critérios g_j forem verdadeiros critérios, isto é, se os limiares forem iguais a zero, o índice de concordância torna-se igual aos usados nos métodos ELECTRE I e II.

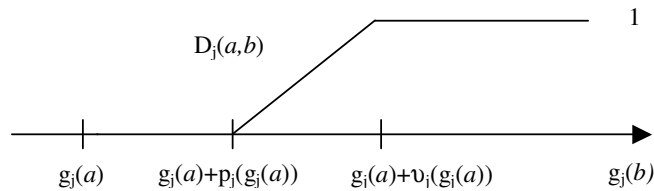
A definição de discordância requer a introdução do limiar de veto $v_j(g_j(a))$ (função de $g_j(a)$) para cada critério j tal que qualquer credibilidade da sobreclassificação de b por a é refutada se:

$$g_j(b) \geq g_j(a) + v_j(g_j(a)) \quad (2.9)$$

Assim, o índice de discordância é definido por (Vincke, 1992):

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b) \leq g_j(a) + p_j(g_j(a)), \\ 1 & \text{se } g_j(b) \geq g_j(a) + v_j(g_j(a)), \\ \text{linear entre os dois} & \end{cases} \quad (2.10)$$

A figura 2.5 ilustra essa definição

figura 2.5-Índice de discordância $D_j(a,b)$ – Vincke, 1992.

O grau de sobreclassificação é definido como (VINCKE, 1992):

$$S(a,b) = \begin{cases} C(a,b) & \text{se } D_j(a,b) \leq C(a,b), \quad \forall j, \\ C(a,b) \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1 - D_j(a,b)}{1 - C(a,b)} & \end{cases} \quad (2.11)$$

em que $J(a,b)$ é o conjunto de critérios para os quais $D_j(a,b) > C(a,b)$. Dessa forma, o grau de sobreclassificação é igual ao índice de concordância quando nenhum critério é

discordante, ou, no caso contrário, o índice de concordância é abaixado em função da importância das discordâncias.

Construído o modelo e encontradas as relações de sobreclassificação, passa-se à etapa de exploração baseada na qualificação para cada alternativa $Q(a)$. $Q(a)$ é o número de alternativas sobreclassificadas por a menos o número de alternativas que sobreclassificam a . O valor de $Q(a)$ é obtido por meio de λ , de modo que: $\lambda = \max_{a,b \in A} S(a,b)$ em que somente os valores “suficientemente pertos” de λ são considerados, isto é, os valores que forem maiores ou iguais a $\lambda - s(\lambda)$, em que $s(\lambda)$ é um limiar a ser determinado (que permite que os valores próximos de λ sejam definidos).

O conjunto de alternativas que possuem a mais alta qualificação é denominado de primeira destilação D_1 . Se D_1 contém apenas uma alternativa, o procedimento anterior é iniciado novamente em $A \setminus D_1$. Caso contrário, o procedimento é aplicado dentro de D_1 ; se a destilação D_2 contiver uma alternativa, o procedimento é iniciado em $D_1 \setminus D_2$ (exceto se o último conjunto for vazio); caso contrário, é aplicado dentro de D_2 , e assim por diante, até que D_1 seja usado inteiramente, antes de iniciar $A \setminus D_1$. Esse procedimento é chamado de cadeia de destilação descendente, no qual se define a primeira pré-ordem completa (Vincke, 1992).

A segunda pré-ordem é obtida por uma cadeia de destilação ascendente, na qual alternativas que possuem menor qualificação são retidas primeiro.

A informação contida nessas duas pré-ordens é análoga à obtida pelo ELECTRE II para obter a ordem completa. Apesar de esse método ser semelhante ao ELECTRE II, é considerado por muitos pesquisadores como um método complexo e de difícil interpretação, por envolver um grande número de parâmetros técnicos a serem definidos pelo analista (Vincke, 1992).

2.4.3.5 ELECTRE IV

A estrutura do Método ELECTRE IV é mais simples que a dos demais métodos, pois, em vez de utilizar índices de concordância e discordância, utiliza, como no ELECTRE III, os pseudocritérios, isto é, os critérios associados a um limite de preferência estrita (p) e a um limite de indiferença (q). Tem como objetivo ordenar as alternativas; logo, é indicado para problemáticas de ordenação γ ($P\gamma$), porém não introduz pesos nos critérios.

2.4.3.6 ELECTRE TRI

O método ELECTRE TRI considera a problemática β ($P.\beta$), que classifica as diversas alternativas para a solução de um problema por meio da comparação de cada alternativa potencial com uma referência estável (padrão/alternativa de referência). O método tem sido

alvo de diversas publicações com problemas de diversas naturezas, como a categorização de áreas de riscos na região de Lorraine, na França, em virtude do fim das operações de mineração de ferro (Merad *et al*, 2004); classificação da qualidade dos municípios para novos investimentos (Gomes&Costa, 2002); avaliação do Programa da CAPES (Miranda&Almeida, 2003); no setor de energia (Georgopoulou *et al*, 2003) no setor de agricultura (Arondel&Giardin, 2000); no sistema de informação (Costa&Almeida, 2003) dentre outros.

Uma outra abordagem nessa linha chama-se de segmentação tricotômica, e foi desenvolvida para ajudar o decisor que precise, durante o processo de exploração das alternativas, colocá-las em categorias definidas de acordo com o tratamento que as alternativas irão receber. Como o nome indica, esse procedimento é limitado ao caso de três categorias, considerando: K^+ , K^- e $K^?$. Intuitivamente, a categoria K^+ corresponde à “alta performance”; a categoria K^- corresponde à “baixa performance”, e existe uma categoria intermediária, que é a $K^?$.

De acordo com Mousseau & Slowinski (1998), a alocação da alternativa a é o resultado da comparação de a com perfis definidos de limites das categorias.

No ELECTRE TRI, para limitar as diversas categorias são definidas alternativas de referência que são fictícias. Cada categoria tem o limite superior e o inferior restringidos por duas alternativas de referência. Assim, cada uma das alternativas de referência serve de fronteira, superior e inferior, às duas categorias.

Sendo conhecidas as alternativas de referência (ou perfis): b_1, b_2, \dots, b_p e os critérios: j_1, j_2, \dots, j_n definem-se $(p+1)$ categorias: C_1, C_2, \dots, C_n . Para um dado critério j , a alternativa a será localizada em uma determinada categoria, em função de sua avaliação $g_j(a)$. (figura 2.6).

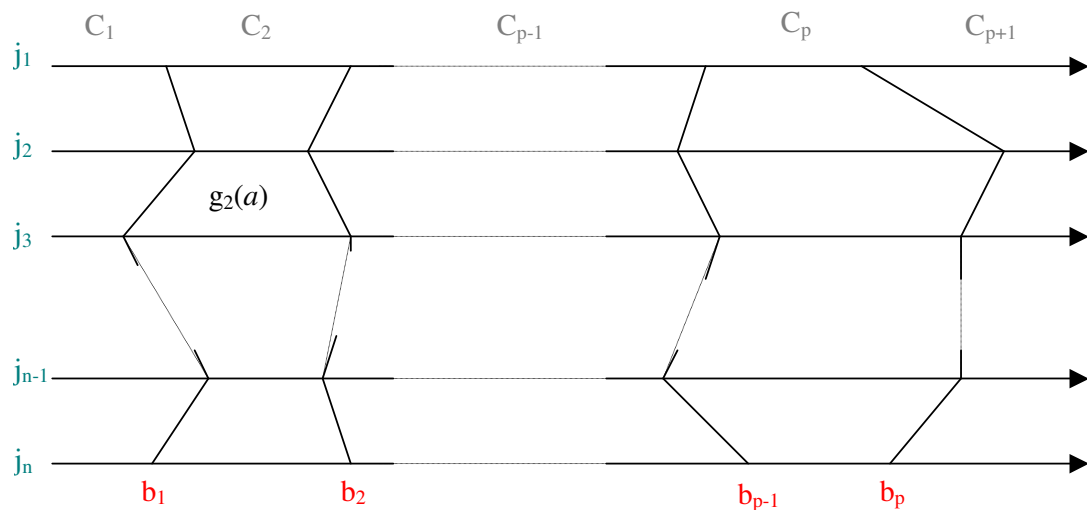


figura 2.6- Alternativas de referência (b), Critério (i) e Categorias (C) no Electre TRI (Adaptado de Mousseau & Slowinski, 1998; Mousseau *et al*, 2000).

É possível notar, na figura 2.6, que a alternativa a , sob o critério j_2 , é localizada na categoria C_2 , em função de sua avaliação $g_2(a)$. E que b_h representa o limite superior da categoria C_h e o limite inferior da categoria C_{h+1} , $h=1,2,\dots,p$.

Os múltiplos critérios considerados no Método ELECTRE TRI estabelecem uma relação de sobreclassificação de uma alternativa a , a ser localizada em cada uma das alternativas de referência, a partir de um Procedimento de Agregação Multicritério (PAM). As condições prévias a serem observadas para estabelecer essas relações são:

- A família de critérios é uma família de pseudocritérios;
- A tabela de desempenho das alternativas está construída;
- São conhecidos, para cada alternativa de referência b_j , os limites de indiferença $q_j(b_h)$, de preferência $p_j(b_h)$ e de veto $v(b_h)$, para cada critério j ;
- Os pesos dos critérios são definidos, para cada alternativa de referência, como sendo $p=(p_1,p_2,\dots,p_n)$, em que $p_j>0, \forall j$;
- Para o procedimento de agregação, deve-se fixar um valor real, situado no intervalo de 0,5 e 1, denominado nível de corte (λ). O nível de corte é o menor grau de credibilidade $\sigma(a,b)$, o qual permite afirmar que “ a supera b ”.

As relações de sobreclassificação S , no ELECTRE TRI, validam ou invalidam a afirmação de que aSb_h (e b_hSa), o que significa que “ a é pelo menos tão boa quanto b_h ”, em que b_h são as alternativas de referência.

As preferências por cada critério são definidas mediante um pseudocritério, no qual os limiares de preferência e indiferença $q_j(b_h)$, $p_j(b_h)$ constituem as informações intracritérios, em que (Mousseau & Slowinski, 1998):

- $q_j(b_h)$ especifica a maior diferença $g_j(a)-g_j(b_h)$, que preserva a indiferença entre a e b_h no critério j ;
- $p_j(b_h)$ especifica a menor diferença $g_j(a)-g_j(b_h)$, compatível com uma preferência em favor de a no critério j .

De acordo com os autores, para validar a afirmação aSb_h (ou b_hSa), devem ser verificadas duas condições:

- Concordância: para uma sobreclassificação aSb_h (ou b_hSa) ser aceita, a maioria dos critérios devem estar a favor dessa afirmação;
- Não-discordância: quando a condição de concordância não for atendida, nenhum dos critérios deve opor-se à afirmação aSb_h (ou b_hSa).

Dois tipos de parâmetros de preferência intercritério intervêm na construção de S (Mousseau & Slowinski, 1998; Dias *et al*, 2002):

- Conjunto de coeficientes de pesos (p_1, p_2, \dots, p_n) , usado no teste de concordância quando é computada a importância relativa dos critérios a favor da afirmação aSb_h ;
- Conjunto de limiares de veto $(v_1(b_h), v_2(b_h), \dots, v_m(b_h))$, usado no teste de discordância. $v_j(b_h)$ representa a menor diferença $g_j(b_h) - g_j(a)$, incompatível com a aSb_h .

Para que o método possa estabelecer uma relação de sobreclassificação entre uma alternativa a e uma alternativa de referência b_h , devem-se calcular os seguintes índices (Lourenço&Costa, 2004):

- Índice de concordância por critério $c_j(a, b_h)$ e $c_j(b_h, a)$;
- Índice de concordância global $C(a, b_h)$ e $C(b_h, a)$;
- Índice de discordância por critério $d_j(a, b_h)$ e $d_j(b_h, a)$;
- Índice de credibilidade $\sigma(a, b_h)$.

Todos esses índices permitem verificar em que medida a alternativa a supera a alternativa de referência b_h . De maneira análoga, o índice de credibilidade $\sigma(b_h, a)$ permite avaliar como a alternativa b_h supera a alternativa a . $\sigma(a, b_h) \in [0, 1]$ e a afirmação aSb_h é considerada válida, se $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ ($\sigma(b_h, a) \geq \lambda$), em que λ é o nível de corte situado no intervalo entre 0,5 e 1.

A seguir são apresentados os procedimentos para calcular os índices de concordância, de discordância e de credibilidade, assumindo que os critérios são crescentes no sentido das preferências.

Para o cálculo dos índices de concordância $c_j(a, b_h)$, $c_j(b_h, a)$, $C(a, b_h)$ e $C(b_h, a)$, deve-se considerar que:

- $c_j(a, b_h)$ = índice de concordância sob o critério j da proposição “ a é pelo menos tão boa quanto b_h ” ;
- $c_j(b_h, a)$ = índice de concordância sob o critério j da proposição “ b_h é pelo menos tão boa quanto a ” ;
- $C(a, b_h)$ = índice global de concordância da proposição “ a é pelo menos tão boa quanto b_h ”;
- $C(b_h, a)$ = índice global de concordância da proposição “ b_h é pelo menos tão boa quanto a ”;
- p_j = limite de preferência definido para o critério j ;
- q_j = limite de indiferença definido para o critério j ;
- g_j = função de avaliação do critério j .

O cálculo de $c_j(a, b_h)$ é realizado da seguinte forma (Miranda & Almeida, 2003):

$$c_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.15)$$

O mesmo procedimento deve ser usado para calcular $c_j(b_h, a)$.

Uma vez calculados os valores dos índices de concordância de cada critério, pode-se realizar o cálculo dos índices globais de concordância, utilizando a fórmula a seguir, em que k_j é o peso do critério j (Mousseau&Dias, 2004; Miranda & Almeida, 2003):

$$C(a, b_h) = \frac{\sum_{j=1}^n k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j=1}^n k_j} \quad (2.16)$$

Para o cálculo do índice de discordância $d_j(a, b_h)$, deve-se considerar que:

- $d_j(a, b_h)$ = índice de discordância sob o critério j da proposição “ a é pelo menos tão boa quanto b_h ”;
- $d_j(b_h, a)$ = índice de discordância sob o critério j da proposição “ b_h é pelo menos tão boa quanto a ”;
- v_j = limite de veto definido para o critério j ;

Assim, tem-se que:

$$d_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \\ 1 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h) \\ \frac{g_j(b_h) - g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.17)$$

Para mostrar como a “alternativa a supera a alternativa de referência b_h ”, considerando os índices de concordância $c_j(a, b_h)$ e de discordância $d_j(a, b_h)$, determina-se o índice de credibilidade, representado por $\sigma(a, b_h)$. A determinação do índice de credibilidade constitui o Procedimento de Agregação Multicritério (PAM), mencionado anteriormente (Gomes *et al*, 2004).

O índice de credibilidade é calculado da seguinte forma:

$$\sigma(a, b_h) = C(a, b_h) \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - C(a, b_h)} \quad (2.18)$$

onde $\bar{F} = \{j \in F : d_j(a, b_h) > C(a, b_h)\}$

Dessa fórmula podem-se tirar algumas conclusões:

- Quando não existem critérios discordantes ou quando se consideram insuficientes todos os índices de discordância em relação ao valor do índice de concordância, o índice de credibilidade $\sigma(a, b_h)$ coincidirá com o valor do índice global de concordância $C_j(a, b_h)$.
- Sob um critério discordante j , em que se rejeita totalmente a proposição “ a supera b_h ” ($d_j(a, b_h)=1$), o índice de credibilidade passa a ser nulo, ou seja, a proposição “ a supera b_h ” passa a não ser globalmente verossímil.
- Quando, sob um critério j , o valor de $d_j(a, b_h)$ se situa entre o valor de $C_j(a, b_h)$ e um, o índice de credibilidade de “ a supera b_h ” deve ser diminuído, incorporando, pois, um “veto parcial” estabelecido pelo critério j .

O índice de credibilidade de $\sigma(b_h, a)$ calcula-se de maneira análoga.

Os valores de $\sigma(a, b_h)$, $\sigma(b_h, a)$ e λ determinam as situações de preferência entre a e b_h (Mousseau *et al*, 2000):

- $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ e $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \rightarrow a S b_h$ e $b_h S a \rightarrow a$ é indiferente a b_h ;
- $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ e $\sigma(b_h, a) < \lambda \rightarrow a S b_h$ e não $b_h S a \rightarrow a$ é preferível a b_h ;
- $\sigma(a, b_h) < \lambda$ e $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \rightarrow$ não $a S b_h$ e $b_h S a \rightarrow b_h$ é preferível a a ;
- $\sigma(a, b_h) < \lambda$ e $\sigma(b_h, a) < \lambda \rightarrow$ não $a S b_h$ e não $b_h S a \rightarrow a R b_h$ e $b_h R a \rightarrow a$ é incomparável a b_h .

Na figura 2.7 são representados os procedimentos efetuados na relação de sobreclassificação entre a alternativa a e a alternativa de referência b_h , a partir dos índices de credibilidade $\sigma(a, b_h)$ e $\sigma(b_h, a)$ e do nível de corte (λ) considerado.

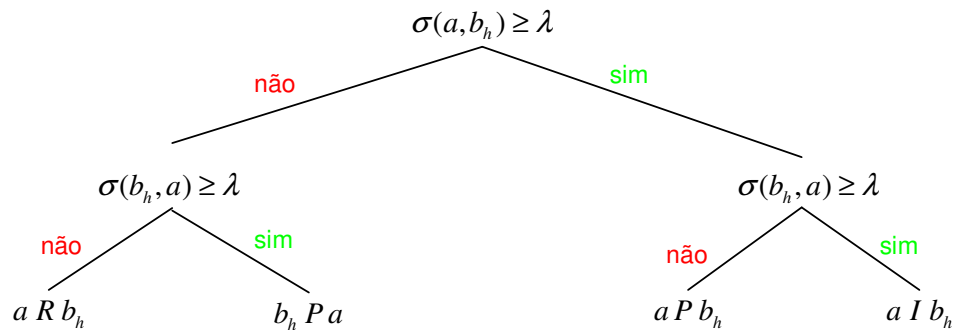


figura 2.7 - Relação entre a e b_h a partir de $\sigma(a, b_h)$, $\sigma(b_h, a)$ e λ (Figura adaptada de Gomes *et al*, 2004).

O procedimento de cálculo credibilidade $\sigma(a, b_h)$ e de $\sigma(b_h, a)$ repete-se para cada alternativa de referência b_h . O número de relações de preferência entre a e b_h corresponde,

assim, ao número de alternativas de referência. Deve-se passar, então, ao procedimento de alocação da alternativa a em uma das categorias C predefinidas (Gomes *et al*, 2004).

Tal procedimento, no ELECTRE TRI, divide-se em dois: pessimista e otimista .

Procedimento pessimista:

- Comparar a sucessivamente com b_i , para $i=p, p-1, \dots, 0$;
- b_h começando pelo primeiro perfil, tal que aSb_h , determina a para a categoria C_{h+1} ($a \rightarrow C_{h+1}$).

Procedimento otimista

- Comparar a sucessivamente com b_i , para $i=1, 2, \dots, p$;
- b_h começando pelo primeiro perfil, tal que “ b_h seja preferível a a ”, determina a para a categoria C_h ($a \rightarrow C_h$).

O esquema geral desse método é mostrado na figura 2.8.

Os procedimentos fazem uso da mesma técnica: a de comparar, de forma sistemática, cada alternativa que será localizada com todas as alternativas de referência. A distinção entre os dois procedimentos reside na sequência dessa comparação e no critério de identificação da categoria de localização.

No procedimento pessimista, a comparação de a inicia-se com a melhor alternativa de referência e prossegue para a alternativa imediatamente inferior, até que se identifique a primeira alternativa de referência b_i que é superada por a . Dessa forma, localiza-se a alternativa a na categoria limitada inferiormente pela alternativa de referência b_i .

Quanto ao procedimento otimista, verifica-se que a comparação de a inicia-se com a pior alternativa de referência, seguida da alternativa imediatamente superior, até identificar-se a primeira alternativa de referência b_i , que supera a . Portanto, a alternativa a é localizada na categoria limitada superiormente pela alternativa de referência b_i .

Na prática, o caso pessimista pode ser aplicado quando os recursos disponíveis são limitados, visto que esse procedimento, na dúvida entre categorias, localiza as alternativas analisadas nas categorias mais baixas possíveis. Em contrapartida, o procedimento otimista procura “localizar as alternativas nas categorias mais altas possíveis”.

Em síntese, pode-se considerar que esse método apresenta dois interesses principais (Gomes *et al*, 2004):

- Julga uma alternativa potencial por si mesma, independentemente das outras alternativas potenciais;
- Identifica um ou vários padrões de referência.

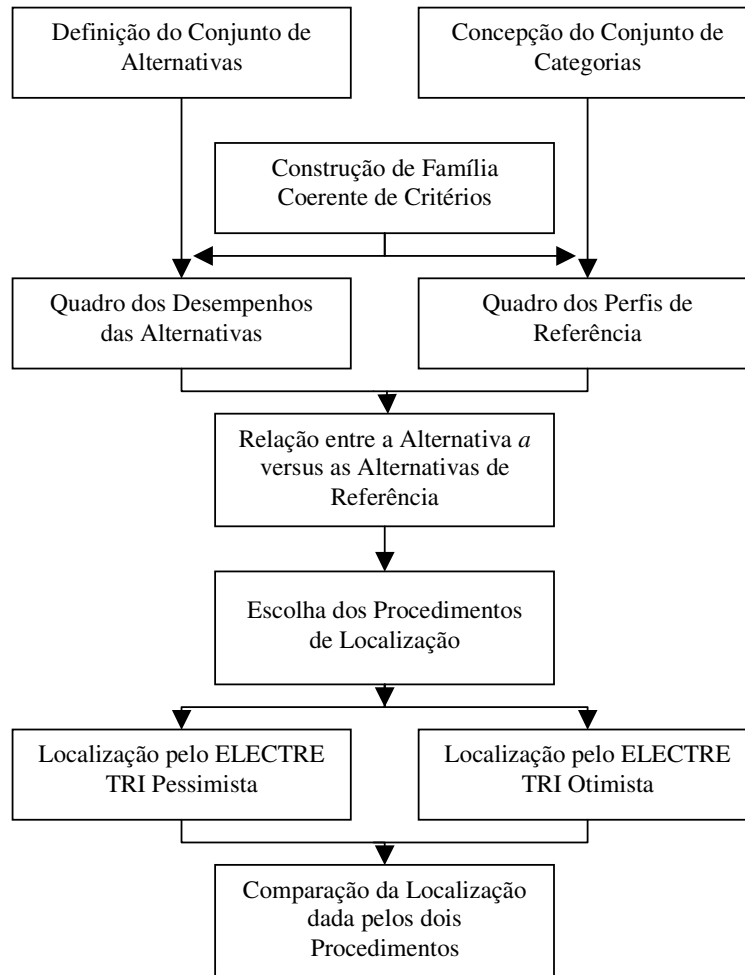


figura 2.8- Diagrama de utilização do Electre TRI

Uma das maiores dificuldades do analista é quando ele interage com o decisor para elicitare os vários parâmetros de preferências. Ao usar o ELECURE TRI, o analista deve determinar valores de diversos parâmetros (os perfis que definem os limites entre as categorias, pesos, limiares...), que são usados para construir um modelo de preferência do decisor. Mesmo que esses parâmetros possam ser interpretados, é difícil fixar diretamente valores para eles e ter um claro entendimento global das implicações que esses valores têm para o resultado do modelo.

Exceto em alguns casos específicos, não é natural supor que o decisor possa explicitamente dar valores a esses parâmetros, visto que são diferentes dos termos naturais com que o decisor expressa suas preferências. Mousseau & Slowinski (1998) propuseram um modelo de inferir os parâmetros do ELECTRE TRI com uma análise de exemplos atribuídos pelo decisor, isto é, dos julgamentos holísticos. Essa abordagem representa o paradigma da desagregação das preferências que visa extrair a informação implícita contida nos julgamentos holísticos dado por um decisor.

O procedimento de inferência que usa o paradigma da desagregação está na figura 2.9.

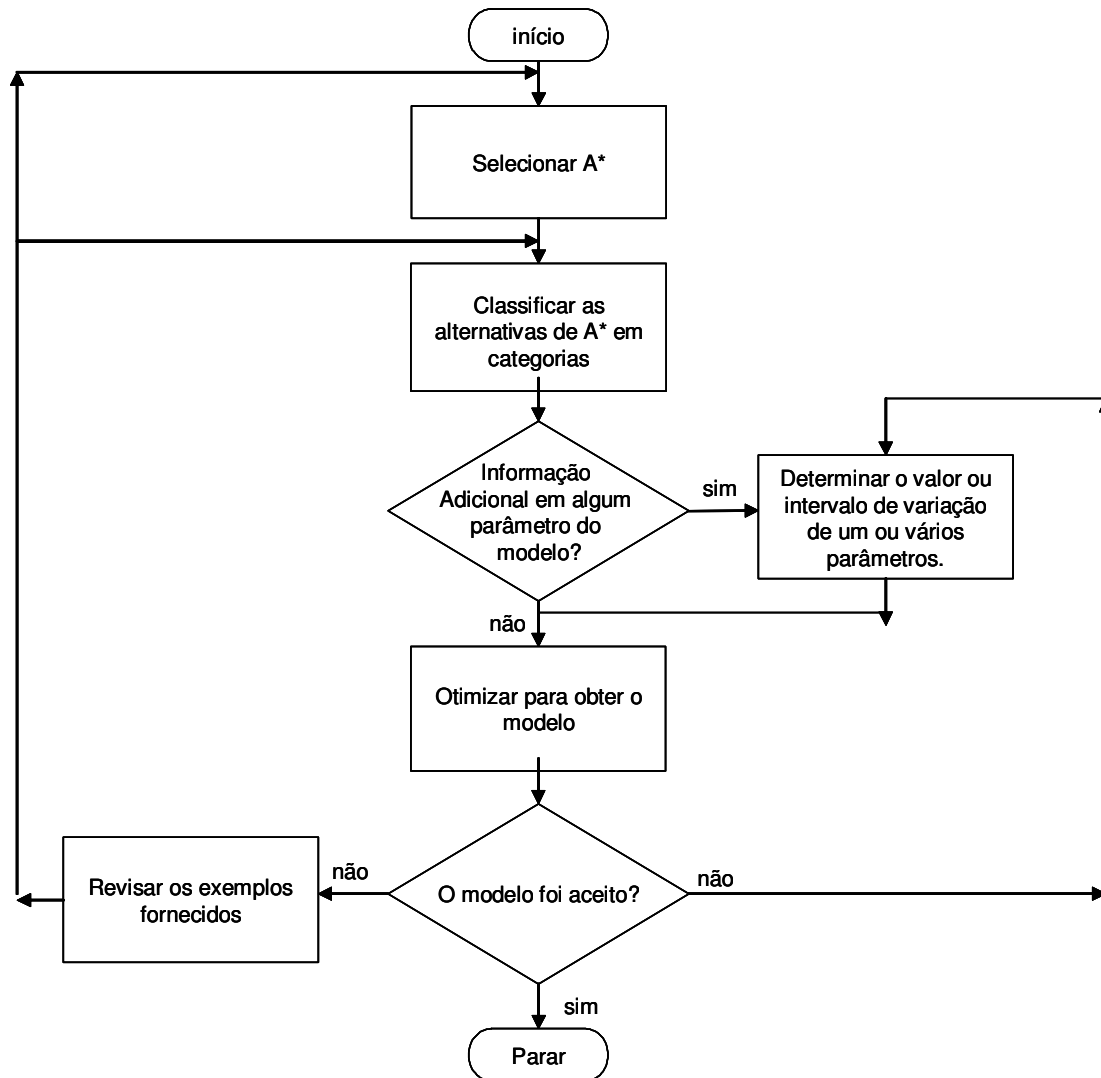


Figura 2.9- Esquema Geral do procedimento de inferência (Mousseau & Slowinski, 1998)

O objetivo do modelo é achar um modelo do ELECTRE TRI compatível com os exemplos atribuídos pelo decisor. Os exemplos atribuídos dizem respeito a um subconjunto $A^* \subset A$ de alternativas para as quais o decisor tem preferências claras, isto é, alternativas em que o decisor pode facilmente especificar uma categoria, levando em consideração suas avaliações em todos os critérios. A compatibilidade entre o modelo do ELECTRE TRI e os exemplos da atribuição é compreendida como uma habilidade do método ELECTRE TRI de usar o modelo para atribuir novamente as alternativas de A^* da mesma maneira que o decisor fez. Para o modelo ter representatividade, o subconjunto de A^* deve ser definido de tal modo que o número de alternativas definidas nas categorias seja igual ou suficientemente grande para “conter informação suficiente”.

Para minimizar as diferenças entre as atribuições feitas pelo decisor e as realizadas pelo ELECTRE TRI, um procedimento de inferência dos parâmetros é usado. O resultado do ELECTRE TRI é denotado por M_π .

No modelo, o decisor pode ajustar o modelo no curso de um procedimento iterativo, isto é, ele pode:

- Remover e/ou adicionar algumas alternativas de/para A^* ;
- Mudar a atribuição de algumas alternativas de A^* .

E pode revisar os exemplos da atribuição ou fixar valores (ou intervalos de variação) para alguns parâmetros do modelo. Para isso o decisor pode dar a informação adicional na escala de variação de alguns parâmetros do modelo que baseiam em sua própria intuição. Por exemplo, o decisor pode especificar:

- Uma informação ordinal da importância dos critérios;
- Diferenças visíveis nas escalas dos critérios;
- Uma definição incompleta de alguns perfis que definem os limites entre as categorias.

Quando o modelo não é perfeitamente compatível com os exemplos, o procedimento pode ser útil para detectar “casos difíceis”, isto é, alternativas para as quais a atribuição computada pelo modelo difere daquela feita pelo decisor. O decisor pode ser questionado para reconsiderar seu julgamento.

O modelo do ELECTRE TRI M_π é composto por:

- Perfis definidos por avaliações $g_j(b_h)$, $\forall j \in F$, $\forall h \in B$;
- Os coeficientes de importância (pesos) k_j , $\forall j \in F$;
- Os limiares de preferência e indiferença $q_j(b_h), p_j(b_h)$, $\forall j \in F$, $\forall h \in B$;
- O limiar de veto $v_j(b_h)$, $\forall j \in F$, $\forall h \in B$;
- Uma seleção de procedimento de atribuição (pessimista ou otimista).

Mousseau & Slowinski (1998) fizeram o modelo para o caso do procedimento pessimista e para a inferência dos perfis, pesos e limiares de preferência e indiferença. O limiar de veto não foi inferido dos exemplos atribuídos por causa da complexidade computacional. Entretanto, o veto pode ser introduzido diretamente pelo decisor no modelo do ELECTRE TRI.

Para determinar o modelo M_π que melhor atribui os exemplos fornecidos pelo decisor, Mousseau & Slowinski (1998) formularam um problema de otimização, isto é, definiram as variáveis, a função objetivo e as restrições.

As variáveis do problema

No procedimento pessimista do ELECTRE TRI, uma alternativa a_k é classificada para a categoria C_h (b_{h-1} e b_h sendo os perfis inferiores e superiores de C_h , respectivamente), se, e somente se, $\sigma_\pi(a_k, b_{h-1}) \geq \lambda$ e $\sigma_\pi(a_k, b_h) < \lambda$. Supondo que o decisor classificou a alternativa $a_k \in A^*$ para a categoria C_{hk} ($a_k \rightarrow C_{hk}$), definem-se as variáveis *slack* (*slack variables*) x_k e y_k irrestritas em sinal tal que $\sigma_\pi(a_k, b_{h-1}) - x_k = \lambda$ e $\sigma_\pi(a_k, b_h) + y_k = \lambda$.

O procedimento de otimização inclui as seguintes variáveis:

- x_k e $y_k, \forall a_k \in A^*$ (variáveis *slack* – $2n$);
- λ (nível de corte);
- $k_j, \forall j \in F$ (pesos – m);
- $g_j(b_h), \forall j \in F, \forall h \in B$ (perfis – mp);
- $q_j(b_h), \forall j \in F, \forall h \in B$ (limiar de indiferença – mp);
- $p_j(b_h), \forall j \in F, \forall h \in B$ (limiar de preferência – mp);

Função objetivo

Se os valores de x_k e y_k forem ambos positivos, então o procedimento pessimista do ELECTRE TRI irá classificar a_k para a “categoria correta”. Entretanto, se um ou ambos os valores forem negativos, o procedimento pessimista do ELECTRE TRI irá classificar a_k na “categoria errada”. O mais baixo valor positivo dessas duas variáveis irá classificar a_k na categoria escolhida pelo decisor. Além disso, se x_k e y_k forem ambas positivas, a_k é classificada de acordo com o definido pelo decisor para $\lambda' \in [\lambda - y_k, \lambda + x_k]$.

Considerando que o conjunto de alternativas $A^* = \{a_1, a_2, \dots, a_k, \dots, a_n\}$ e supondo que o decisor classificou a alternativa a_k na categoria $C_{hk}, \forall a_k \in A^*$. O modelo M_π será consistente com a atribuição feita pelo decisor, se, e somente se, $x_k \geq 0$ e $y_k \geq 0, \forall a_k \in A^*$.

Consistente com o argumento precedente, a função objetivo a ser maximizada pode ser definida como:

$$\min_{a_k \in A^*} (x_k, y_k) \rightarrow \max \quad (2.19)$$

Se a função objetivo tiver um valor não-negativo, então as alternativas de A^* serão “corretamente” classificadas, para todo $\lambda' \in [\lambda - \min_{a_k \in A^*} (y_k), \lambda + \min_{a_k \in A^*} (x_k)]$.

Essa função, entretanto, leva em consideração o “pior caso” somente. Uma função objetivo deve classificar as alternativas de A^* para a categoria “correta”. Conseqüentemente, a função objetivo será:

$$\min_{a_k \in A^*} (x_k, y_k) + \varepsilon \sum_{a_k \in A^*} (x_k, y_k) \rightarrow \max \quad (2.20)$$

em que ε é o menor valor positivo. A fórmula 2.20 pode ser reescrita como:

$$\alpha + \varepsilon \sum_{a_k \in A^*} (x_k, y_k) \rightarrow \max \quad (2.21)$$

$$\alpha \leq x_k, \quad \forall a_k \in A^* \quad (2.22)$$

$$\alpha \leq y_k, \quad \forall a_k \in A^* \quad (2.23)$$

Restrições ao problema

As restrições ao problema de otimização são:

$$\sigma_\pi(a_k, b_{hk-1}) - x_k = \lambda, \quad \forall a_k \in A^*$$

$$\sigma_\pi(a_k, b_{hk}) + y_k = \lambda, \quad \forall a_k \in A^*$$

$$\alpha \leq x_k, \alpha \leq y_k, \quad \forall a_k \in A^*$$

$$\lambda \in [0.5, 1]$$

$$g_j(b_{h+1}) \geq g_j(b_h) + p_j(b_h) + p_j(b_{h+1}), \forall j \in F, \forall h \in B$$

$$p_j(b_h) \geq q_j(b_h), \forall j \in F, \forall h \in B$$

$$k_j \geq 0, q_j(b_h) \geq 0, \forall j \in F, \forall h \in B$$

De acordo com a figura 2.9, alguma restrição adicional pode ser incluída no curso do procedimento para incluir a visão intuitiva do decisor sobre o valor de alguns parâmetros.

Se o decisor, por exemplo, não considerar nenhum critério dominante, uma apropriada restrição seria:

$$k_j \leq 1/2 \sum_{i=1}^m k_i, \forall j \in F.$$

Problema de otimização

A forma básica do problema de otimização a ser resolvida é:

$$\alpha + \varepsilon \sum_{a_k \in A^*} (x_k, y_k) \rightarrow \max$$

$$\alpha \leq x_k, \quad \forall a_k \in A^*$$

$$\alpha \leq y_k, \quad \forall a_k \in A^*$$

$$\frac{\sum_{j=1}^m k_j c_j(a_k, b_{hk-1})}{\sum_{j=1}^m k_j} - x_k = \lambda$$

$$\frac{\sum_{j=1}^m k_j c_j(a_k, b_{hk})}{\sum_{j=1}^m k_j} + y_k = \lambda$$

$$\lambda \in [0.5, 1]$$

$$g_j(b_{h+1}) \geq g_j(b_h) + p_j(b_h) + p_j(b_{h+1}), \forall j \in F, \forall h \in B$$

$$p_j(b_h) \geq q_j(b_h), \forall j \in F, \forall h \in B$$

$$k_j \geq 0, q_j(b_h) \geq 0, \forall j \in F, \forall h \in B$$

Aproximação do índice de concordância parcial $c_j(a_k, b_h)$

O índice de concordância parcial $c_j(a_k, b_h)$ consta de pedaços de uma função linear (ver fórmula 2.15) e é então não-diferenciável. Isso evita que seja usado a técnica de otimização gradiente, o que se mostra muito apropriado para resolver esse problema. Para sanar essa dificuldade, Mousseau & Slowinski (1998) aproximaram o $c_j(a_k, b_h)$ para uma função sigmoidal diferenciável $f(x)$ com a seguinte forma:

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp[-\beta(x - x_0)]}$$

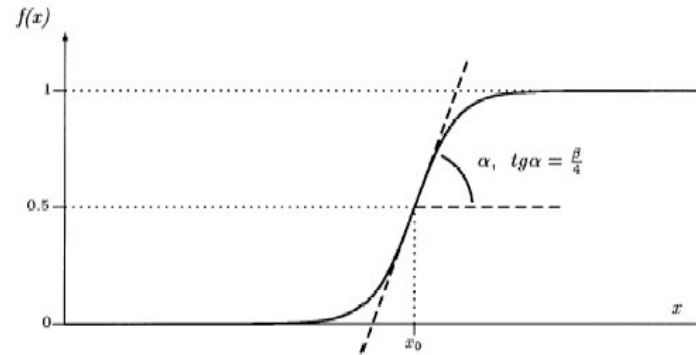


figura 2.10- Função Sigmoidal $f(x)$.

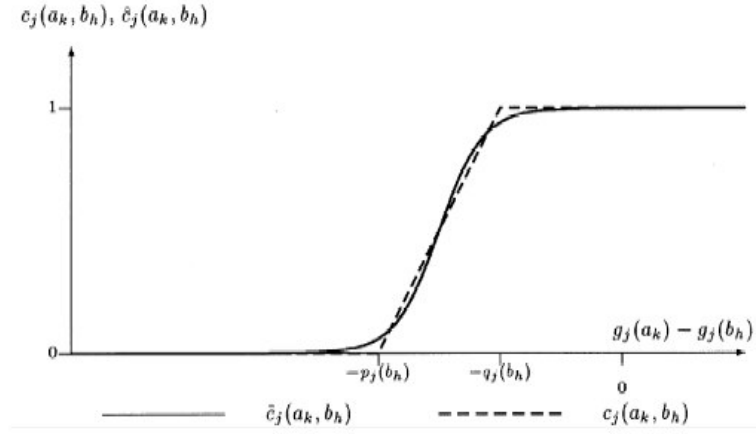


figura 2.11- Aproximação de $c_j(a_k, b_h)$ por $\hat{c}_j(a_k, b_h)$

A função sigmoideal tem as seguintes propriedades:

$$\left[\begin{array}{l} \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 1 \\ \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0 \\ f(x_0) = 0.5 \\ \frac{df(x)}{dx} = \beta f(x)(1 - f(x)) \end{array} \right]$$

Essas propriedades tornam possível a representação “justa” de $c_j(a_k, b_h)$ por $f(x)$.

A forma da função é mostrada na figura 2.10 $c_j(a_k, b_h)$ é função da diferença de $g_j(a_k) - g_j(b_h)$ e dos limiares $q_j(b_h)$, $p_j(b_h)$. Para representar $c_j(a_k, b_h)$ por $f(x)$, foi substituído x por $g_j(a_k) - g_j(b_h)$ e incluídos ambos os limiares nos parâmetros x_0 e β . Como $c_j(a_k, b_h) = 0.5$ para $g_j(a_k) - g_j(b_h) = (q_j(b_h) + p_j(b_h))/2$, $x_0 = (q_j(b_h) + p_j(b_h))/2$. O valor de β Minimiza o erro da aproximação e é: $\beta = 5.55 / (p_j(b_h) - q_j(b_h))$.

O resultado da aproximação de $c_j(a_k, b_h)$ é mostrado na figura 2.11.

$$\hat{c}_j(a_k, b_h) = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{-5.55}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} \cdot (g_j(a_k) - g_j(b_h) + \frac{p_j(b_h) + q_j(b_h)}{2})\right]}$$

Mousseau & Slowinski (1998) resolveram o problema de otimização pelo Solver do Excel, que se mostrou uma ferramenta apropriada para o caso. O problema dessa ferramenta é que não se pode ter certeza de ter obtido o ótimo global com seu uso.

Como dados iniciais do problema, os perfis foram definidos como:

$$g_j(b_h) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sum_{a_i \rightarrow C_{h-1}} g_j(a_i)}{n_{h-1}} + \frac{\sum_{a_i \rightarrow C_h} g_j(a_i)}{n_h} \right\}$$

Os pesos foram todos definidos iguais a 1.

Os limiares de preferência e indiferença foram fixados arbitrariamente em:

$$q_j(b_h) = 0.05g_j(b_h)$$

$$p_j(b_h) = 0.1g_j(b_h)$$

E $\lambda=0.75$.

Assim, o problema de otimização foi resolvido.

Os autores Mousseau *et al* (2001), Mousseau&Dias (2004) e Dias&Mousseau(2004) também utilizaram problemas de otimização para a inferência de alguns parâmetros do ELECTRE TRI.

2.4.4 Método PROMETHEE

O método PROMETHEE consiste em construir uma relação de sobreclassificação de valores e destaca-se por buscar envolver conceitos e parâmetros que têm alguma interpretação física ou econômica, facilmente entendida pelo decisor, tendo sido descrito numa quantidade considerável de artigos e aplicado com sucesso em vários problemas de diferentes naturezas (Brans & Vincke, 1985; Brans *et al*, 1986; Brans & Mareschal, 1992; Taleb & Mareschal, 1995; Costa & Almeida, 2002; Alencar *et al*, 2003; Cavalcanti & Almeida, 2003; Almeida & Costa, 2003).

O PROMETHEE caracteriza-se por ser um método de ordenação simples na sua concepção e ordenação, quando comparado a outros métodos de análise multicritério e é adequado a problemas em que existe um número finito de alternativas que estão sendo ordenadas, considerando-se vários critérios conflitantes.

As seguintes implementações do PROMETHEE são descritas na literatura (Brans & Vincke, 1985; Brans *et al*, 1986; Brans & Mareschal, 1992; Taleb & Mareschal, 1995):

- Promethee I - Estabelece uma relação de sobreclassificação parcial entre as alternativas;
- Promethee II - Estabelece uma ordem completa entre as alternativas;
- Promethee III e IV - Foram desenvolvidos para o tratamento de problemas de decisão mais sofisticados, em particular com um componente estocástico;
- Promethee V - após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (promethee II), são introduzidas restrições, identificadas no problema para as alternativas selecionadas, incorporando uma filosofia de otimização inteira;
- Promethee VI - quando o decisor não está apto ou não quer definir precisamente os pesos para os critérios, podem-se especificar intervalos de possíveis valores em lugar de um valor fixo para cada peso.

O método engloba duas fases:

- Construção de uma relação de sobreclassificação (agregando a informação sobre as alternativas e sobre os critérios);
- Exploração dessa relação para apoio à decisão.

O decisor deve estabelecer para cada critério um peso p_j , que aumenta com a importância do critério.

O Promethee apresenta seis formas diferentes de o decisor representar suas preferências, não necessariamente usando a mesma forma para todos os critérios. São critérios gerais, usados para identificar a intensidade da preferência (Gomes *et al*, 2004; Alencar, 2003).

Conforme o modo como a preferência do decisor aumenta com a diferença entre o desempenho das alternativas para cada critério $[g(a) - g(b)]$, ele pode definir uma função $F(a,b)$ que assume valores entre 0 e 1.

3 CONTROLE DE ESTOQUES

3.1 Definição de estoques

Segundo Moreira (1998), entende-se por estoque qualquer quantidade de bens físicos que sejam conservados, de forma improdutivo, por algum intervalo de tempo. Constituem estoque tanto os produtos acabados que aguardam venda ou despacho, como matérias-primas e componentes que aguardam utilização na produção.

De acordo com Davis *et al* (2001), os estoques são definidos como sendo a quantificação de qualquer item ou recurso usado em uma organização. No escopo completo, o estoque pode incluir entradas como itens humanos, financeiros, energia, equipamentos; físicos, tais como matéria-prima; saídas, como peças, componentes e produtos prontos; e estágios intermediários do processo, tais como produtos parcialmente acabados ou estoque em processo (ou estoque intermediário). A escolha de quais itens incluir no estoque depende da organização. Na construção civil, são feitos estoques de materiais para a construção; logo, estoque de entrada.

Slack *et al* (2002) definem estoque como a acumulação armazenada de recursos de materiais em um sistema de transformação.

O estoque existe porque há uma diferença de ritmo entre fornecimento e demanda, não importando o que está sendo armazenado como estoque, ou onde está posicionado na operação. Se o fornecimento de qualquer item ocorresse exatamente quando fosse demandado, o item nunca necessitaria ser estocado.

Os principais objetivos operacionais dos estoques são:

- Cobrir mudanças previstas no suprimento e na demanda: há uma diversidade de fatores relacionados que podem ser considerados, como, por exemplo, a obra pode decidir comprar uma quantidade acima do necessário para um determinado insumo como cimento, pois está previsto um aumento de preço ou, alternativamente, porque se espera uma greve de caminhoneiros que irá dificultar o abastecimento.
- Proteger contra incertezas: a função é servir de proteção a mudanças não previstas no suprimento, na demanda ou no tempo de espera (tempo entre o pedido feito aos fornecedores e a entrega das mercadorias).
- Permitir produção ou compras econômicas

3.2 Classificação do estoque

Definida a existência, pode-se classificar o estoque, segundo Slack *et al* (2002), em quatro tipos: de proteção, de ciclo, de antecipação e de canal.

O estoque de proteção também é chamado de estoque isolador. Seu propósito é compensar as incertezas inerentes ao fornecimento e demanda.

O estoque de ciclo ocorre porque um ou mais estágios na operação não podem fornecer simultaneamente todos os itens que produzem.

O estoque de antecipação é usado para compensar as diferenças de ritmo de fornecimento e demanda.

Os estoques no canal de distribuição existem porque não podem ser transportados instantaneamente entre o ponto de fornecimento e o ponto de demanda, isto é, todo estoque em trânsito é estoque no canal.

Na construção civil, pode-se verificar o estoque de proteção como o de maior importância, cujo objetivo é compensar as incertezas entre fornecimento e demanda, pois existe um tempo entre o pedido ser feito e o produto chegar à obra, e nesse intervalo é necessário ter a matéria-prima para que não haja uma interrupção no processo construtivo. Portanto, esse tipo de estoque será o principal objetivo deste estudo.

A construção civil não se caracteriza por manter estoques a longo prazo, uma vez que se apóia na produção “puxada”, em que os insumos para a execução das tarefas chegam à obra de acordo com o serviço a ser realizado. Entretanto, existe limitação quanto ao volume de material a ser entregue no canteiro de obras, devido à capacidade do veículo que realiza o transporte e às flutuações nos preços dos materiais. Portanto, ocorre a aquisição de insumos em quantidade maior do que seria utilizada em determinada atividade e o reembolso financeiro previsto para essa. Desse modo, devem ser implementada pequenas alterações em relação à programação dos serviços executados para que haja melhor utilização desses insumos.

A escolha de um método para o controle de estoques é determinada em função dos dois padrões básicos de consumo de um item ao longo do tempo, denominados de demanda dependente e independente. A demanda de um item é independente se ela depender das condições de mercado, fora do controle imediato da empresa, e é dependente quando seu consumo puder ser programado internamente.

Os insumos na construção civil possuem uma demanda dependente do planejamento realizado previamente. Segundo Leite & Possamai (2001), o planejamento da programação de

obras em engenharia implica, inicialmente, uma previsão das atividades a serem realizadas, dos recursos necessários, dos custos estimados, dos prazos e de tantos outros elementos importantes para a execução e para o acompanhamento da obra.

Logo, a qualidade da obra como um todo – dentre outros fatores, como organização de seu canteiro de obras, correta operacionalização dos processos administrativos em seu interior, controle de recebimento e armazenamento de materiais e equipamentos e qualidade na execução de cada serviço específico do processo de produção – é resultante do seu planejamento e gerenciamento (Souza *et al* 1995).

Na fase de Planejamento da Programação, na construção civil, existe a possibilidade de flexibilidade enquanto o processo está no desenvolvimento do projeto, uma vez que em tal fase torna-se mais fácil realizar modificações, aperfeiçoar o projeto para a realidade existente na empresa, a custos menores, e em especial satisfazer as necessidades do usuário. Durante a execução da obra, não há essa facilidade, uma vez que, se alguma modificação for realizada, da modificação pode comprometer a viabilidade do projeto como um todo. Por isso necessita de tomadas de decisão com maior grau de precisão, por parte da administração.

3.3 Administração de estoque

As três principais decisões relacionadas à administração de estoques que um engenheiro precisa gerenciar são, segundo Slack *et al* (2002):

- Quanto pedir, isto é, cada vez que for colocado um pedido para o reabastecimento, de que tamanho ele deve ser.
- Quando pedir, isto é, em que momento deve ser colocado o pedido.
- Como controlar o sistema, que procedimentos e rotinas devem ser implantados para ajudar a tomar essas decisões? Diferentes prioridades deveriam ser atribuídas a diferentes itens do estoque? Como a informação sobre o estoque deveria ser armazenada?

Segundo Davis *et al* (2001), um sistema de estoque é o conjunto de políticas e controles que monitora os níveis de estoque e determina quais níveis deveriam ser mantidos, quando o estoque deveria ser reposto e o tamanho dos pedidos.

3.4 Custos dos estoques

Manter estoques significa imobilizar recursos e incorrer em uma série de custos, alguns facilmente identificáveis e calculáveis e outros de difícil mensuração, mas que nem por isso deixam de existir.

Trigueiro (1996) apresenta uma lista dos principais custos em que incorre uma empresa com a manutenção dos seus estoques agrupados em duas classes. Uma classe congrega os custos decorrentes de estoques insuficientes, e outra os custos associados a estoques muito elevados.

Os custos associados a estoques insuficientes são:

- Perdas em descontos;
- Despesas com paralisações na produção;
- Despesas com emissões extras de autorização de fornecimento;
- Perdas associadas à produção em lotes econômicos;
- Perdas associadas à insatisfação de clientes.

Os custos associados a estoques muito elevados são:

- Perdas por obsolescência de certos itens;
- Perdas na taxa de retorno do capital;
- Despesas associadas com maior volume de transporte e manuseio;
- Despesas associadas à ocupação de espaço em excesso;
- Despesas excessivas com seguros;
- Despesas em excesso com pessoal.

3.5 Curva ABC

A análise ABC usa o princípio de Pareto (1927,1946) e tem sido empregada nas indústrias para várias aplicações: controle de qualidade, redução de custo, medida de trabalho, método de melhoria, administração de inventário e outras utilizações. O uso da análise ABC para a administração de estoque começou antes de 1950 e se tornou a base para administração e controle de inventário (Chu&Chu, 1987).

O princípio ABC significa que uma pequena fração de artigos representa uma quantidade grande do valor ou da atividade total.

Muitos de casos reais da vida apresentam esse tipo de fenômeno. Alguns exemplos são:

- Poucos componentes têm o *lead time* extremamente longo;
- Um pequeno percentual de pedidos representa um grande volume de dinheiro gasto;
- Poucos fornecedores causam a maioria dos atrasos;
- Um número reduzido de clientes dá a uma companhia a maioria de seus pedidos;
- Poucos vendedores vendem a maioria dos produtos.
- Poucos produtos geram a maioria do lucro;
- Algumas operações apresentam a maioria dos problemas da qualidade;

- Algumas cidades têm a maioria da população.

Analisar em profundidade milhares de itens num estoque é uma tarefa extremamente difícil e, na grande maioria das vezes, desnecessária. É conveniente que os itens mais importantes, segundo algum critério ou critérios, tenham prioridade sobre os menos importantes. Assim, economizam-se tempo e recursos (Francischini & Gurgel, 2002).

Na construção civil, existe uma variedade muito grande de itens. Gerenciar os estoques de todos eles com a mesma atenção pode ser dispendioso, fazendo com que se encontre uma forma de dar atenção diferenciada a certos itens, adotando critérios que permitam distinguir claramente a importância do insumo segundo esses critérios.

Um dos critérios mais utilizados e importantes é o que considera o investimento aplicado a cada item, visto que qualquer economia feita nesses estoques significa disponibilidade de recursos para investimentos em outras necessidades da empresa.

O que se pode verificar empiricamente é que uma pequena parte de insumos é responsável pela maior parte dos investimentos. O termo ABC em estoques significa ordem de prioridade e agrupa os materiais em três classes:

- Classe A: grupo de materiais mais importantes, que devem ser controlados pela administração. Na prática, pode-se constatar que os itens Classe A, embora constituam apenas 20%, ou menos, da quantidade dos itens em estoque, representam 70 a 80% do investimento;
- Classe B: grupo de itens em situação intermediária entre as classes A e C. Geralmente constituem 20% dos itens, correspondendo a 20% do valor total em estoque;
- Classe C: grupo de itens menos importantes, que merecem pouco controle por parte da administração de materiais, e representam em média 60% em quantidade e apenas 10% do investimento total.

Para a confecção da classificação ABC, deve-se primeiramente listar todos os insumos utilizados numa determinada fase da obra, com seus respectivos preço unitário e quantidade. Depois, calcula-se o valor do investimento multiplicando-se quantidade por preço e, por fim, classificam-se os materiais com base no investimento em ordem decrescente, e realiza-se um valor de investimento acumulado com os respectivos percentuais para dividir os insumos de acordo com o critério ABC.

Por outro lado, uma análise exclusiva ABC pode levar a distorções perigosas para a empresa, pois ela não considera a importância do item em relação ao sistema como um todo. Para resolver essa deficiência da análise por investimento, muitas empresas utilizam um conceito chamado criticidade dos itens de estoque. Criticidade é a avaliação dos itens quanto

ao impacto que sua falta causará na operação da empresa, na imagem da empresa perante os clientes, na facilidade de substituição de um item por um outro e na velocidade de obsolescência. (Martins & Alt, 2000).

Logo, o engenheiro pode utilizar a curva ABC por investimento para decidir os materiais aos quais deve dar mais atenção no controle de estoques, porém também deve avaliar a criticidade dos itens de estoque, isto é, avaliar os itens quanto ao impacto que sua falta causará na obra. Dessa forma, os itens podem ser classificados em classe A (itens imprescindíveis, cuja falta provoca interrupção na obra), classe B (itens importantes, cuja falta não provoca efeitos na produção a curto prazo), classe C (demais itens). Logo, o engenheiro deve dar um enfoque maior ao controle de estoques para os itens de classe A classificados pelos critérios de falta e/ou investimento.

3.5.1 Abordagens da classificação ABC

Há três regras básicas para a classificação ABC (Chu & Chu, 1987):

- A regra 20-80;
- A aproximação da distribuição log-normal;
- A regra 1/3, que pode ser usada para classificar os itens em categorias A, B e C.

Na prática, a maioria das empresas utiliza a abordagem 20-80 como um guia para a divisão ABC, como foi explicado anteriormente, porém existem outras maneiras de classificação.

Tipicamente, a curva ABC mostra que 20% dos artigos respondem por 80% ou mais do valor do consumo, e daí deriva a regra 20-80. Entretanto, não há nenhuma convenção fixa a respeito do que constitui a categoria A, B ou C. A escolha de classificar limites pode ser determinada de acordo com o percentual dos itens ou baseada nos percentuais cumulativos do valor de consumo; conseqüentemente, é arbitrária e é baseada na natureza do negócio, no julgamento e experiência do analista e na causa das ações que podem ser tomadas. Por causa da ambigüidade e subjetividade encontrada, resolveu-se aproximar a curva ABC de uma distribuição log-normal. Com essa aproximação, não há nenhuma necessidade de colocar os artigos em ordem descendente da atividade ou calcular as somas ou as porcentagens dos artigos e das atividades. Assim, os cálculos podem ser reduzidos.

Uma outra alternativa é o uso da regra 1/3, que é uma abordagem japonesa para a classificação. A regra 1/3 usa valores da raiz quadrada do valor de consumo como o critério de medição. A seguir, usa 1/3 do percentual cumulativo como ponto de ruptura para os grupos A e B, e 2/3 do valor, isto é, 66,7% como o ponto de corte para as categorias B e C. As

vantagens principais do método são sua objetividade e facilidade de utilização. A regra pode estender o uso para diferentes números de categorias. Como exemplo, se um usuário quiser classificar os artigos em cinco categorias, pode usar 1/5, 2/5, e assim por diante, como os pontos de ruptura.

Apesar do largo uso, existem alguns problemas associados com a análise ABC. Os principais são:

- Como selecionar um bom critério de medida;
- Qual o número de categorias mais apropriado;
- Como classificar os itens nas classes.

Para a aplicação no setor de construção civil, serão propostos critérios de medidas, categorias e métodos de classificação, resolvendo assim os principais problemas existentes.

A curva ABC é uma maneira de o engenheiro estabelecer critérios para o sistema de controle de estoques, definindo prioridades. Métodos multicritérios aplicados para a classificação ABC serão discutidos no capítulo 4.

3.6 Pesquisa bibliográfica

3.6.1 Métodos usados para a classificação dos estoques

Os modelos multicritério de apoio à decisão têm sido aplicados a uma grande quantidade de problemas de planejamento de produção, tais como: planejamento agregado da produção, balanceamento da linha de montagem (Malakooti, 1989; Yang *et al*, 1988), problemas de *layout*, produtos e planejamento de processo (Agrell, 1994; Yoshimura *et al*, 1989) e controle de inventário.

A classificação dos itens em categorias A, B e C, é geralmente baseada em apenas um critério, como fez Pareto (1927, 1946). Para itens de inventário, o critério geralmente é o preço unitário do item multiplicado pela quantidade (custo total do uso). Entretanto, para muitos itens, esse critério pode torna-se inadequado. O problema em usar esse critério para ranquear os itens do estoque é enfatizar itens que possuem o custo total do uso alto, mas que não são importantes para a operação da produção, o serviço da empresa, e não enfatizar itens que possuem o custo total do uso baixo, mas que são importantes. Logo, classificando o inventário da empresa dessa forma pode-se induzir a um mau gerenciamento dos componentes do estoque.

O número de critérios usados para a administração de estoque e a importância relativa entre os critérios pode ser variado, dependendo da natureza e do tipo de empresa.

As empresas têm de enfrentar o problema de como classificar, analisar e ordenar os itens do inventário quando mais de um critério for utilizado. Depois disso, os itens podem ser agrupados (como na classificação ABC) para melhor refletir os objetivos da administração de estoques. Cohen & Ernst (1988) sugerem uma classificação multicritério e algumas políticas de controle de estoque. Esses autores descrevem uma abordagem de usar agrupamentos (*clustering*) como uma maneira de combinar grupos de itens e afirmam que esse método provê uma melhora do método típico ABC.

Ernst & Cohen (1990) sugeriram uma metodologia baseada em blocos estatísticos (*statistical clustering*), a qual utiliza um grande número de atributos operacionalmente significantes. A principal vantagem é que ela pode acomodar um grande número de combinações de atributos, o qual é significativo para ambas as finalidades: estratégica e operacional. Entretanto, requer dados substanciais para o uso da análise de fator (procedimento de *clustering*), o qual pode ser impraticável nos típicos ambientes de estoques. Além disso, os agrupamentos (*clusters*) devem ser reavaliados a fim classificar itens novos do estoque. Assim, há uma possibilidade de o estoque previamente classificado ser mudado sempre que um item novo for adicionado, o que pode perturbar o procedimento de controle de inventário. Essa abordagem também é muito sofisticada para a média de administração de estoque existente.

Dennis & Meredith (2000) utilizaram o método de agrupamento (*cluster*) descrito por Ward & Jennings (1973) para identificar agrupamentos (*clusters*) de sistemas de administração de produção e estoque de várias empresas. Os autores analisaram detalhadamente os sistemas de administração de produção e estoque com o objetivo de identificar as semelhanças e diferenças entre os diversos sistemas de empresas de manufatura. Para tal finalidade, primeiro foram identificadas as variáveis relevantes nas quais os sistemas de administração de produção e estoque podem ser diferenciados. Em seguida, foram estudadas como essas variáveis não se assemelham nos diferentes sistemas. Por fim, foram criados diversos grupos de sistemas baseados nessas variáveis.

As variáveis utilizadas foram:

- Necessidades de materiais: o nível do detalhe e a frequência que é usada para gerar as exigências de materiais;
- Necessidades de capacidade: o nível de detalhe e a frequência que é usada para gerar as necessidades de capacidade;
- Consumo de materiais: o nível de detalhe da rotina do consumo de material;
- Consumo de capacidade: o nível de detalhe da rotina do consumo de capacidade;

- Controle do processo de trabalho;
- Materiais computadorizados: o percentual dos materiais que são controlados pela tarefa de administração de produção e estoque que são computadorizados;
- Capacidade computadorizada: o percentual da capacidade que é controlada pela tarefa de administração de produção e estoque que é computadorizada.

No método utilizado, a distância entre dois *clusters* é a soma do quadrado entre dois *clusters* somados com todas as variáveis. Como o método usa a soma do quadrado das distâncias, não é necessário que os dados estejam normalizados, porém, pela mesma razão, é necessário normalizar os dados com média zero e desvio-padrão igual a 1, para que uma variável não influencie no resultado mais que outra. Os sistemas foram divididos em quatro tipos diferentes, utilizando-se o critério do valor de R^2 , que foi plotado em um gráfico desse valor versus o número de classes.

Todavia, os quatro tipos de sistemas desenvolvidos só fazem sentido para as 19 firmas analisadas pelos autores e não podem ser extrapoladas para outras indústrias.

Flores & Whybark (1986, 1987) usaram a análise multicritério ABC e descreveram vantagens, como a redução de investimento e *lead time* (tempo de ressuprimento). Eles não propuseram um método específico para integrar a utilização de vários critérios e apenas sugeriram uma forma de reduzir a classificação num grupo ABC.

Flores & Whybark (1986) recomendaram considerar um ou mais critérios como certeza de suprimento, taxa de obsolescência, avaliabilidade, substitutabilidade, *lead time* (tempo de reabastecimento) e impacto da falta do item. O número de categorias sob qualquer sistema de classificação não precisa ser limitado a três (A, B ou C). Flores & Whybark (1987) notaram que categorias adicionais podem ajudar a analisar a política de inventário. As empresas podem criar super-categorias, sub-categorias ou categorias baixas, sob as quais estabelecerá políticas de administração de estoque, sistema e métodos de controle. De fato, em alguns casos podem existir categorias como AB, AC, BA, BC, CA, CB, AA, BB e CC.

Dependendo do tipo de indústria e da parte da organização que é considerada, o número de critérios para a classificação ABC podem ser vários.

Flores & Whybark (1986, 1987) propuseram uma abordagem de matriz bi-critério. Essencialmente a abordagem é utilizar para classificação ABC para cada um dos dois critérios isoladamente e depois combinar a classificação individual de cada uma numa matriz conjunta.

O uso de matrizes quando são considerados dois critérios de classificação formam nove células e serão necessárias nove diferentes políticas para lidar com os itens do inventário. Embora fosse possível estabelecer nove políticas diferentes, seria um processo mais difícil de

executar e controlar com sucesso, porém o problema se tornaria inadmissível se mais de dois critérios fossem utilizados. Por conseguinte essa abordagem possui algumas limitações: primeiro, não há maneira óbvia de estender esse procedimento para mais de dois critérios; depois, os pesos dos diferentes critérios são considerados iguais.

Flores *et al* (1992) estenderam os resultados propostos por Flores & Whybark (1986, 1987) e usaram o método AHP (Analytical Hierarchy Process) para integrar e usar vários critérios para ordenar os itens do estoque. Os critérios utilizados foram: criticidade, *lead time*, custo total de uso e preço unitário. Os dois últimos foram usados como critérios distintos. O problema dessa abordagem é que os itens são usualmente medidos em unidades diferentes, por exemplo, o preço unitário de um item é dado por \$/Kg, enquanto o de outro é em \$/metro, e para a utilização desse método a unidade de um critério não deve mudar de item para item. Guvenir & Erel (1998) corrigiram esse problema e aplicaram o AHP para a classificação de estoques com múltiplos critérios, unindo os critérios de custo total de uso e preço unitário num único critério que é custo total de uso, o qual tem a unidade em dólar. Esses autores também usaram algoritmos genéricos para dar pesos aos critérios, e o método proposto foi denominado GAMIC (Genetic Algorithm for Multicriteria Inventory Classification). O GAMIC foi comparado com o AHP, chegando-se à conclusão de que a classificação feita pelo GAMIC foi mais próxima da classificação feita pelo decisor do que a obtida pelo AHP.

O método AHP para a classificação ABC também foi utilizado por Gajpal *et al* (1994), Partovi & Burton (1993) e Partovi & Hopton (1994).

O método AHP, apesar de muito utilizado, não é bem conceituado devido às inconsistências que ele apresenta (Tung & Tang, 1998; Barzilai & Golany, 1994).

Padmanabhan & Vrat (1990) aplicaram a programação não-linear para o problema de lote-padrão. Ramani & Krishnan Kutty (1995) discutiram o *trade-off* entre custo total de uso e nível de serviços em um exemplo da classificação ABC, em que os custos de falta eram sabidos e o nível de serviço fosse dado nas escalas. Um grupo de 306 itens de uma organização de transporte foram classificados em nove subgrupos, baseados em múltiplos critérios. Para cada subgrupo foi especificado um nível de serviço. Sua contribuição mostrou, essencialmente, o conjunto de soluções eficientes que no plano custo-serviço, em seu exemplo numérico, exibiu uma forma convexa, o que identificou um ponto de mínimo para a administração do custo do inventário.

Partovi & Anandarajan (2002) utilizaram redes neurais artificiais (ANNs – *Artificial neural networks*) para o processo de classificação de estoques. O ANN pode simular uma

utilização gerencial de relacionamentos percebidos para critérios qualitativos e quantitativos o que oferece um importante passo intermediário para o julgamento final do decisor.

Lenard & Roy (1995) realizaram um estudo numa grande empresa de transporte público na França, o qual possui mais de 100.000 itens diferentes no estoque. Essa empresa desejou repensar a política de inventário, em virtude das várias dificuldades encontradas no controle de estoques. As conclusões desse trabalho são muito ligadas a esse caso particular, porém podem ser usadas com benefícios em outros casos.

Lenard & Roy (1995) acreditam que os artigos do inventário devam ser tratados de forma diferente, e para isso decidiram construir as famílias de artigos. Para os autores, a família é um conjunto de artigos nos quais as decisões devem ser as mesmas em termos de dois critérios: número de faltas por ano e período de reposição.

Para a construção das famílias, foi definida uma estrutura de atributos que torne possível o agrupamento dos itens. Foram identificados três diferentes níveis de atributos: há atributos em que as diferenças entre os itens os impedem de ficar juntos; há os atributos em que as diferenças entre os artigos enfraquecem o grupo; há os que são particularmente úteis para o gerente do inventário. Os atributos que exalam pré-agrupar são a estrutura do armazenamento e a importância estratégica dos artigos. Os artigos estratégicos e não-estratégicos também não podem ser agrupados porque a decisão seria diferente. Estratégico se refere a duas noções diferentes: pode haver os artigos que são estratégicos porque as faltas conduzem às dificuldades nas atividades, e os artigos que são estratégicos porque são particularmente caros. Essas características particulares dos artigos modificam extremamente as decisões: os artigos que são estratégicos do ponto de vista da atividade têm de ter um baixo número de faltas por ano, o que significa que devem ser conservados em estoques diferentes dos não-estratégicos. Há também dois atributos em que as diferenças enfraquecem o agrupamento. Uma família fraca significa que, dada uma decisão particular para a família, as conseqüências para o critério “nível do estoque médio” para os artigos diferentes da mesma família podem ser muito diferentes. Ambos os atributos são a dispersão da demanda e o *lead time* dos itens. Dada uma decisão, está claro que o nível do estoque médio será mais elevado para um artigo com um desvio-padrão mais elevado da demanda (a mesma coisa para o *lead time*). Há também três atributos que são úteis: a natureza dos artigos, o fornecedor e a existência de grupos funcionais. Usando os primeiros cinco atributos, as famílias dos artigos são construídas.

As categorias foram pré-definidas como um conjunto de intervalos para cada atributo.

A abordagem usada pelos autores foi fundada em quatro princípios:

- Não há nenhuma compensação entre os atributos;
- Os valores dos atributos dos itens não são precisamente sabidos, mas podem ter sido fornecidos pelo usuário (importância estratégica, por exemplo) ou ter sido avaliados no passado (nível de consumo), ou usados como uma estimativa do comportamento do item no futuro;
- Avaliar a compatibilidade significa medir a que extensão os valores do item correspondem a esses perfis ou não. É usada a função sociedade $\{0,1\}$ que mais se adapta ao caso (um valor perto de uma beira do intervalo não deve ser considerado tão desfavorável quanto um valor extremamente longe dele).
- São utilizadas as noções de concordância e discordância para avaliar a compatibilidade. A concordância mede a que extensão os valores dos itens são a favor da atribuição e a discordância a que extensão os valores são desfavoráveis à atribuição.

Depois da construção da família e agregado os itens nelas, a decisão de estoque é tomada, baseada num modelo multicritério de um item, o qual consiste em simular o comportamento do sistema de estoque de acordo com os valores dados para o número de faltas por ano e nível de estoque médio, realizando dessa maneira uma aproximação de curvas eficiente da política para o sistema de inventário. A determinação dessa curva não é um processo fácil, e para cada critério é formada uma curva dessa e não vai mais existir uma política ótima, mas um conjunto eficiente de políticas no qual os *trade offs* podem ser visualizados pelos critérios, e o decisor pode tomar a melhor solução.

Para cada uma das famílias esse modelo é criado.

3.6.2 Métodos usados para a seleção de fornecedores

Nos últimos anos, com a adoção crescente de conceitos da administração de qualidade total por muitas firmas, as questões de seleção de fornecedores e de avaliações de desempenho têm sido fundamentais.

A maioria das publicações refere-se à compra dos materiais, particularmente por firmas industriais, e dizem respeito a dois tipos de situação: um ou vários fornecedores.

Para a seleção de apenas um fornecedor, esses devem ajustar-se às exigências dos compradores (em termos de quantidade, qualidade, entrega, etc.) e, portanto, a única decisão é sobre a seleção do melhor fornecedor usando múltiplos critérios (preço, qualidade, *lead time*, etc). Weber *et al* (1991) utilizaram métodos de compensação linear para os critérios, e Barbarosoglu & Yazgaç (1997), Narasimhan (1983), Nydick & Hill (1992) usaram o AHP.

O caso de vários fornecedores é adotado quando nenhum dos fornecedores pode satisfazer as exigências totais dos compradores (devido às limitações de capacidade, qualidade, entrega, preço, etc.), ou quando as estratégias de obtenção visarem evitar a dependência de um único fornecedor. Nesse contexto, o comprador enfrenta duas decisões: selecionar fornecedores e atribuir ordens entre os fornecedores selecionados. Ghodsypour & O'Brien (1998) adotaram a programação linear e o AHP; Benton (1991) usou a programação não-linear, e a programação multiobjetivo foi adotada por Weber & Current (1993).

Oliveira & Lourenço (2002) desenvolveram um modelo multicritério de suporte à decisão para a aquisição de serviços, isto é, a contratação de fornecedores para a construção de redes de encanamento para a distribuição de gás às casas na área de Lisboa. O problema foi de como alocar trabalhos de construção entre um conjunto de contratantes selecionados, baseado-se no desempenho passado desses fornecedores de serviço, e para isso foi desenvolvido um sistema multicritério para avaliar a performance dos fornecedores.

3.6.3 Uso de multicritério para a seleção de política de reposição de estoque

Petrovic & Petrovic (2001) resolveram as questões do quando pedir e quanto pedir determinando o conjunto de regras em que o preenchimento do inventário é feito, referindo-se, portanto, às políticas de reposição, que é um problema desafiador em ambientes incertos. Um ambiente externo é caracterizado por influências externas e tipos de incertezas que influenciam na demanda do cliente por produtos e processos de reposição. Por exemplo, a demanda do cliente depende do preço, aparecimento da competição, produtos obsoletos e outros fatores. Incerteza do processo de reposição inclui obtenção do *lead time*, controle de qualidade do tempo em que o pedido chega até ser repostado no estoque, etc.

Com relação à política de reposição do estoque, as características da política são, na maioria das vezes, conhecidas, porém as variáveis de controle não.

Usualmente, as características estruturais de uma política de reposição (PR) são:

- Ciclo de reposição fixado ou variável;
- Tamanho do pedido fixo ou variável.

Dependendo do tipo de PR, as variáveis de controle mais usadas são: tamanho do período de revisão, estoque de segurança, ou nível de pedido e quantidade de pedido.

Os autores modelaram um número de alternativas de PR no caso da demanda do cliente incerta e descrita por um conjunto *fuzzy*, e escolheram uma alternativa usando um novo algoritmo para a seleção multicritério da melhor PR.

Para tanto, foi assumido que as PR são completamente especificadas, incluindo todas as variáveis de controle, as quais podem ser especificadas por especialistas, baseando-se no bom senso e na experiência, não tendo que ser, portanto, variáveis com soluções ótimas.

Para o problema, as seguintes considerações foram feitas:

- A localização do inventário é única;
- A demanda do cliente é por um produto;
- Quando a demanda excede o estoque, ela é ordenada e entregue assim que se torne disponível;
- O estoque é repostado por uma fonte externa, e a quantidade repostada é recebida prontamente ou com um *lead time* conhecido;
- A demanda do cliente é incerta e é vagamente expressada por termos lingüísticos formalmente descritos por um ambiente *fuzzy*.

As alternativas para a PR são as quatro mais extensivamente estudadas na teoria de estoques e largamente aplicadas na prática. São elas:

- PR1: ciclo de pedido fixo e quantidade de pedido fixa;
- PR2: ciclo fixado e quantidade de pedido variável, onde o inventário é revisto periodicamente e a quantidade de pedido é determinada como uma maneira de deixar o nível de estoque num nível máximo determinado;
- PR3: período de revisão variável e quantidade de pedido fixa, em que o período entre os pedidos pode mudar, e a quantidade de pedido fixa é pedida quando o estoque atingir um predeterminado ponto de pedido ;
- PR4: período variável e quantidade de pedido variável, em que o período entre os pedidos e as quantidades variam, e o pedido é feito quando o estoque atinge o ponto de pedido e é pedido até atingir o estoque máximo.

Os critérios representam o nível de serviço do inventário, aspecto de custo e relação com o suprimento, e são:

- C1: taxa de circulação do estoque;
- C2: custo total do item;
- C3: regularidade das ordens de reposição com respeito ao instante e às quantidades de tempo requisitado.

Os critérios C1 e C2 para cada PR são obtidos analiticamente ou por simulação, e o do C3 é feito por julgamento subjetivo descrito por expressão lingüística.

A importância relativa entre os critérios é subjetivamente avaliada por coeficientes de pesos, os quais são associados a uma expressão lingüística. Um conjunto *fuzzy* discreto é associado com cada expressão lingüística.

Com isso é montada uma matriz, e um novo algoritmo para a seleção multicritério do melhor PR é proposto. O algoritmo é uma adaptação da abordagem de Hurwitz (Hey, 1979) para a seleção da solução otimista-pessimista.

Usando o algoritmo, é possível determinar a melhor PR que maximiza a satisfação do decisor com relação a mais de uma medida de desempenho.

3.6.4 Estoques e o contexto organizacional

Zomerdijk & Vries (2003) ressaltam a importância de considerar o contexto organizacional do inventário em estudo quando se trata de problemas de controle de estoque.

Dentro da área de administração de produção e pesquisa operacional, muitas contribuições a respeito de controle de estoques podem ser encontradas. Tradicionalmente, focam três tópicos que são largamente reconhecidos como uma importante parte do controle de estoque: quantidade de pedido, intervalo de pedido e sistema de controle de estoque. De um ponto de vista prático, o ambiente organizacional não é levado em consideração, porém aspectos importantes, como alocação de responsabilidades e autoridades, qualidade da informação do inventário e os relevantes processos de tomadas de decisões precisam ser analisados.

Para tanto, os autores identificaram quatro dimensões do contexto organizacional: alocação de tarefas, processos de tomada de decisão, processo de comunicação e comportamento das partes envolvidas, e montaram uma estrutura a ser considerada para a resolução de problemas práticos de administração de estoque.

A alocação de tarefas é uma dimensão importante no contexto organizacional do inventário. Características importantes a esse respeito são: o número de pessoas responsáveis pela administração de estoques, a posição funcional e hierárquica da pessoa na organização e a alocação de responsabilidades e autoridades. Cada uma dessas características pode influenciar na efetividade do controle de estoques.

A teoria organizacional mostra que o processo de tomada de decisão forma uma significativa dimensão. Como em outras áreas organizacionais, muitas decisões são feitas na administração de estoques, variando de decisões estratégicas anuais a decisões operacionais referentes a atividades do dia-a-dia. O resultado é que o controle de estoques é influenciado pelo modo como essas decisões são tomadas. Além disso, a efetividade do controle de

inventário depende da maneira como as decisões de inventário são relacionadas com outras decisões da organização. É evidente que decisões contraditórias ou decisões que são baseadas em informações erradas podem influenciar na efetividade do controle de estoques.

O processo de comunicação representa outra dimensão importante no contexto organizacional de estoques. A qualidade das informações e a previsão do *feedback* têm um grande impacto na efetividade do controle de estoques.

A quarta e última dimensão do contexto organizacional é a importância do comportamento das partes envolvidas no controle de estoques. Lovejoy (1998) aponta que o comportamento humano não pode ser ignorado nesse contexto.

Zomerdijk & Vries (2003) adicionaram a essas quatro perspectivas os pontos tradicionais da administração de produção e pesquisa operacional, os quais resultaram numa abordagem chamada de perspectiva organizacional para controle de estoque.

3.6.5 Características do Setor da Construção Civil

A indústria da construção civil encontra-se em desvantagem em relação a outros ramos da indústria, como a indústria metal mecânica e indústria têxtil, no que se refere ao gerenciamento, em particular à racionalização e ao incremento da produtividade dos processos produtivos (Picchi, 1993).

O esforço para a modernização do setor da construção civil é contínuo, apesar das características que fazem da construção civil uma indústria na qual se dificulta a implantação de um gerenciamento eficaz. Segundo Soibelman (1993), essas características são:

- A construção civil é uma indústria de caráter nômade, em que a constância das características nas matérias-primas e nos processos é mais difícil de se conseguir do que em outras indústrias de caráter fixo;
- Seus produtos são geralmente complexos e de natureza única. Não é possível aplicar a produção em série devido ao fato de que o produto é fixo e os operários móveis, que dificulta a operação e o controle;
- A construção civil é uma indústria muito tradicional, com grande inércia a alterações, se comparada a outras indústrias;
- Emprega mão-de-obra pouco qualificada, com pouca possibilidade de promoção e, portanto, de baixa motivação;
- Uma parte significativa do trabalho é sujeita às intempéries, com dificuldades de armazenamento, submetida ao tempo, a condutas vandálicas, dentre outros aspectos. A proteção dos operários nessas circunstâncias é muito difícil;

- Na construção civil, as responsabilidades aparecem dispersas e pouco definidas, o que sempre gera zonas de sombra na qualidade;
- O grau de precisão das estimativas de custo e prazo é menor que na maioria das outras indústrias;
- A construção civil emprega especificações complexas, contraditórias, em que o projeto está sempre mudando, e muitas vezes confusas. O resultado é que desde a origem a qualidade é mal definida;
- O produto final construído é caro por natureza, devido ao fato de demandar grande variedade de insumos e alguns deles em grandes quantidades.

3.6.6 A Construção Civil e os Estoques

3.6.6.1 Comparação entre a indústria de manufatura e da construção civil

A administração de materiais na construção civil, especialmente nas maiores obras, é uma função importante e complexa para a obtenção de uma melhora substancial no projeto. Na manufatura, diferentemente da construção, a função de gerenciar materiais é extensamente estudada, com sistemas formais e técnicas desenvolvidas.

A importância da administração de materiais reside no fato de ela ter substancial importância no custo e tempo do projeto. Técnicos estimam e análises históricas indicam que os materiais representam de 50-60% do custo do projeto (CII, 1988) e controlam 80% do cronograma (Kerridge, 1987 *apud* Homaïd, 2002). A falta de itens, quando necessários à obra, são identificados como a maior e mais comum e freqüente causa de atrasos em obras (CII, 1988), e um sistema integrado de administração de materiais aumenta de 10-12% a produtividade (Bell&Stukhart, 1987)

Baseado nesses fatos, Homaïd (2002) realizou um estudo comparativo da administração de materiais aplicada à manufatura e à construção.

O estudo desse autor revelou que o processo usado na indústria de manufatura pode ajudar a formalizar o processo da construção civil, e algumas técnicas, como MRP e JIT, podem ser adaptadas ao setor de construção. Vale destacar, porém, que o autor não apresentou como realizar tais adaptações.

Esse autor destacou que a maior diferença entre os dois processos diz respeito à integração entre os materiais e o planejamento das operações, o que na manufatura é altamente integrado, diferindo da construção.

Na indústria de manufatura, a função de administração de materiais é responsável pela relação e é comumente chamada de controle de produção. O planejamento de operações é

guiado pelos materiais, isto é, o começo da operação é ditado pela disponibilidade do item. Logo, os materiais e o planejamento da operação são conectados e geralmente estão num único processo. Na construção, o planejamento dos materiais e das atividades da obra não são altamente integrados e, diferentemente da manufatura, que tem os pedidos realizados internamente com planejamento baseado na sequência de operações, usando sistemas como MRP, na construção civil, a maioria das requisições é feita externamente, não tendo uma dependência para com a sequência de operações.

Na construção civil, o planejamento das atividades é feito primeiramente, e é de responsabilidade do planejamento e controle de produção e não da administração de materiais. É o planejamento de atividades que vai indicar o que, quanto, quando e onde os materiais serão solicitados. Isso interfere na forma como o planejamento de materiais e a operação são integrados e, conseqüentemente, na maneira como são administrados. Na manufatura, ambos são inseparáveis e feitos pela mesma função; já na construção, são separados de maneira seqüencial e feitos por diferentes funções.

3.6.6.2 Problemas da Engenharia e da Indústria da Construção

A indústria da engenharia e construção oferece desafios formidáveis, porém continua com a performance insatisfatória. Sofre com margens de lucro baixas e projetos com problemas de programação e orçamento. Um exame britânico da indústria de construção mostrou que a margem de lucro no trabalho de construção é de 1 à 2% (Agapiou, 1998). O Instituto Americano da Indústria de Construção (CII) (1988) mostra que aproximadamente 1/3 dos projetos falham em custo e programação. Um aspecto crítico da falha de projeto é o atraso da construção, que resulta freqüentemente em reclamações. Um outro exame no Reino Unido mostra que 52% dos projetos de construção terminam com reclamação de algum tipo (Conlin, 1997).

A indústria de construção recebe muitas críticas. Mohamed (1996) salienta que as práticas e os mecanismos da indústria de construção são ineficientes e conduzem a inevitáveis desperdícios. O estudo de Lim (1995) sobre a produtividade da construção em Singapura mostra que a indústria é percebida como um setor da baixa produtividade.

Uma investigação no desperdício do tempo revela que a mão-de-obra da construção gasta uma quantidade considerável de tempo esperando o material chegar à obra. A quantidade de trabalho em atividades sem agregação de valor foi de 40% da duração total da obra, desde a concepção à conclusão (Mohamed, 1996).

O CII (1988) nos Estados Unidos, em sua vasta investigação na indústria da construção, concluiu que o desempenho do projeto, medido nos termos de custo, programação, técnica, qualidade, segurança e objetivos do lucro, tem uma substancial capacidade de melhoria para a indústria como um todo. O Conselho da Indústria de Construção (CIB) do Reino Unido sugeriu especificamente que a indústria de construção deve ser mais competitiva e visa reduzir custos de construção em 30% (Garnett, 2000). Mohamed (1996) calcula que a economia de tempo de 25% é realizável em uma atividade de construção sem aumento de recursos.

3.6.6.3 Integração das atividades de EPC

Yeo & Ning (2002) abordaram o projeto EPC (*engineer-procure-construct*), que é o desenvolvimento de um produto complexo, composto de um grande número de subsistemas e componentes interconectados, requerendo esforços humanos consideráveis e o compromisso financeiro. As atividades de EPC são baseadas na fase do tempo, de acordo com precedências e necessidades.

A fase Engenharia/Projeto (E) é o processo pelo qual as necessidades, desejos e vontades de um proprietário ou colaborador são definidos, quantificados e qualificados em exigências claras que serão comunicadas aos construtores ou aos contratantes. A fase de Engenharia/Projeto tem o nível mais elevado de influência no projeto. As decisões-chave serão feitas durante as fases de planejamento do pré-projeto e da engenharia. Tais decisões conduzirão a uma grande quantidade de fundos e a outros recursos necessários à execução e conclusão bem sucedida do projeto. O projeto de um sistema de engenharia é realizado, geralmente, como uma série de etapas que incluem o projeto conceitual, o projeto preliminar e o projeto detalhado.

A fase de engenharia e do projeto é seguida pela fase de aquisição (P). Um contratante começa a adquirir materiais e equipamentos de construção após receber as plantas de engenharia, as especificações e outros documentos relevantes. As atividades principais da aquisição/logística incluem a compra, contratação e administração de materiais na obra. Um contratante começa a construir na fase de construção (C), de acordo com o planejamento realizado na fase de engenharia e a aquisição de materiais e equipamentos realizada na fase de aquisição.

O foco de Yeo & Ning (2002) foi na fase de aquisição (P), que abrange a aquisição de materiais, equipamentos e serviços. O termo engloba todas as atividades do departamento de

compras, como a localização de firmas, preços, especificações, compra em si, transporte, recepção e tudo mais que um departamento de compras faz.

A importância da fase de aquisição é devida aos seguintes fatores:

- É a função que faz a conexão entre as fases de engenharia e construção. Os materiais adquiridos são o alicerce da construção;
- Os custos materiais representam a maior parte dos custos totais em projetos EPC;
- É uma função altamente dependente das companhias externas, que são os fornecedores e os subcontratantes;
- A aquisição necessita de mais comunicação e negociação com as partes externas;
- O controle não é tão forte quanto nos casos da engenharia e da construção;
- Uma bem sucedida gerência de aquisição pode conduzir a um melhor desempenho no custo e na entrega da obra.

Cada projeto de engenharia é único e, conseqüentemente, o planejamento de aquisição também. Uma condição nova do local, um novo cliente em um local diferente ou um novo fornecedor são condições que podem conduzir a novas exigências de projeto. As sobreposições consideráveis da fase de engenharia/projeto na fase de aquisição aumentam às incertezas. As decisões de aquisição para itens com longo *lead time* são feitas geralmente logo depois que os projetos preliminares estão terminados e antes que o projeto de construção esteja terminado. A incerteza da aquisição pode afetar o processo inteiro, desde a construção à programação total do projeto

As margens de lucro na construção são extremamente espremidas a poucas percentagens, devido à concorrência entre as empresas. Logo, uma diminuição nos custos de aquisição pode melhorar a lucratividade total da indústria da construção. Tal melhoria é executável se alguns dos paradigmas atuais disponíveis da administração puderam ser explorados para a administração quanto às incertezas na aquisição do projeto.

Davis *et al* (2003) definem o gerenciamento da cadeia de suprimentos como a habilidade de uma empresa de trabalhar com seus fornecedores para prover material e componentes de alta qualidade a um preço competitivo.

Para Slack *et al* (2002), a gestão da cadeia de suprimentos é a gestão da interconexão das empresas que se relacionam por meio de ligações a montante e a jusante entre os diferentes processos, as quais produzem valor na forma de produtos e serviços para o consumidor final, sendo uma abordagem holística de gestão através das fronteiras das empresas.

Para os autores, está sendo reconhecido que existem benefícios substanciais a ser ganhos ao administrar-se toda a cadeia de operações de modo que satisfaçam o consumidor final. Esses benefícios centram-se em dois objetivos-chave:

- Foco na satisfação efetiva dos consumidores finais;
- Foco na gestão eficiente da cadeia.

O gerenciamento da cadeia de suprimentos é provavelmente a última filosofia de aquisição e logística que está sendo adotada. Inicialmente, o objetivo da logística era reduzir os custos de aquisição. Agora, o objetivo está sendo ampliado para uma competência estratégica da organização. Além disso, esses objetivos incluem a melhoria da flexibilidade da produção, o atendimento aos pedidos e a redução do lead-time (Yeo & Ning, 2002).

De acordo com Yeo & Ning (2002), algumas lições baseadas na gestão da cadeia de suprimentos podem ser apropriadamente adequadas ao projeto de aquisição, tais como:

- Tratar a aquisição como uma ligação estratégica no projeto de entrega de suprimentos, no contexto de uma única empresa virtual, e usar isso para maximizar o valor do *stakeholder*;
- Desenvolver planos estratégicos e táticos que assegurem a entrega oportuna dos materiais e equipamentos para proteger a data de conclusão do projeto;
- Desenvolver um sistema de informação interligado para assegurar a informação oportuna na programação do projeto, nas exigências da obra, movimentação de materiais e entrega nas datas prometidas;
- Redesenhar o processo do negócio para diminuir procedimentos administrativos, aperfeiçoando-os ou eliminando papeladas e procedimentos que não agregam valor;
- Remover os gargalos ou restrições e fazer crescer a atividade de aquisição do começo ao fim, eliminando o suprimento e a demanda incerta;
- Adiar a aquisição dos materiais que não são críticos para o mais tarde possível, enquanto se obtêm os itens críticos o mais cedo possível;
- Melhorar a administração da cadeia de fornecedores, selecionando fornecedores de qualidade e confiança.

4 MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

4.1 Descrição do modelo de classificação de estoques

O modelo, ora proposto, recomenda que sejam classificados os itens do estoque de tal forma que sejam estabelecidas classes de artigos. Tal procedimento vem a facilitar não só a tomada das decisões, a respeito da política de estoques, a qual deverá ser sempre a mesma para cada classe, como auxiliar na gerência dos materiais.

De acordo com Chapman & Ward (2002), as organizações, que desejarem operar com eficiência, necessitam controlar o nível do inventário cautelosamente. Com efeito, a manutenção do nível alto do estoque incorre em custos de várias formas, enquanto mantê-lo muito baixo representa um risco de interrupção da operação e custos associados.

Determinar o nível do inventário significa considerar as políticas de reposição sobre a natureza dos custos associados e *trade off*, envolvendo os custos de obtenção. Isso se relaciona com a maneira como a operação está configurada.

O ponto principal é que um grande sistema requer automaticamente um tempo apreciável para as etapas essenciais do controle. Se tentar reduzir o tempo para uma etapa individual de controle, incorre em custos tanto na exatidão como nos recursos. Inversamente, a exatidão aumentada requer tempo e recursos. Tudo isso é para dizer que é impossível controlar perfeitamente um grande sistema. Executar grandes sistemas de inventário torna-se incomodo, porque cada artigo requer a administração do ciclo de pedido e da quantidade. O controle do estoque é extremamente simplificado quando apenas alguns grupos, ao invés de muitos itens, precisam ser controlados (Danaka & Tanaka, 1987).

A construção de classes para o controle dos itens de estoque pode ser realizada com a utilização de métodos multicritério de apoio à decisão, a qual considera mais de um critério simultaneamente.

A estrutura do modelo é apresentada na figura 4.1.

O modelo será aplicado à indústria da construção civil, podendo, no entanto, ser utilizado em qualquer outra atividade econômica; portanto, a descrição dos passos a seguir variará de acordo com o setor ao qual será aplicado o modelo.

O modelo segue, portanto, as seguintes etapas para sua aplicação na construção civil:

- Levantamento dos itens de estoque do estudo: para levantar os itens de estoque é necessário realizar a composição de cada atividade do projeto, isto é, os

materiais que serão necessários para a construção da unidade da atividade, a qual pode ser dada em m^2 , m^3 , kg dentre outras. Com a realização da composição, serão obtidas também as quantidades totais dos materiais, dadas pela multiplicação da quantidade de serviço a ser executada pelo consumo necessário de material de cada atividade. Assim serão levantados todos os itens do estoque e suas respectivas quantidades;

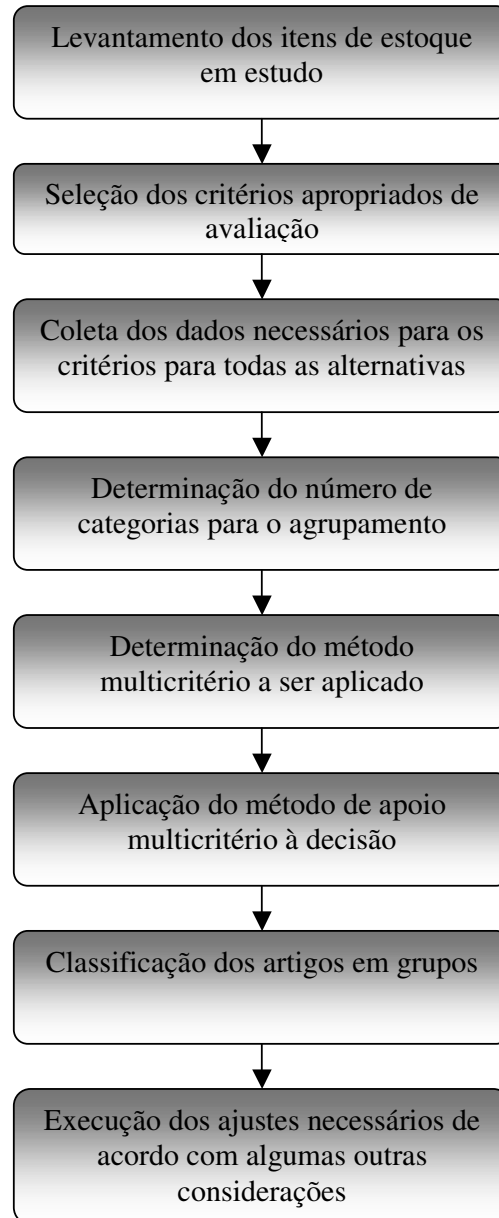


figura 4.1- Modelo de classificação de itens de estoque

- Seleção dos critérios de avaliação apropriados: os critérios selecionados dependem da finalidade do estudo. O responsável pelo estoque de materiais deve definir os critérios relevantes para a classificação dos materiais. Os critérios podem ser escolhidos para agrupar os materiais em ordem de prioridade de controle, como também para a criação de famílias, em que serão formuladas políticas de estoques únicas para cada agrupamento;
- Coleta dos dados necessários para os critérios para todas as alternativas: todos os dados coletados devem ser validados, e as unidades dos dados devem ser consistentes;
- Determinar o número de categorias: deve-se selecionar o ponto de ruptura relacionado, isto é, a regra de classificação para cada classe;
- Determinação do método multicritério a ser aplicado: deve-se escolher o método multicritério de apoio à decisão de acordo com a finalidade pretendida;
- Aplicação do método de apoio multicritério à decisão;
- Classificação dos artigos em grupos;
- Execução dos ajustes necessários de acordo com algumas outras considerações.

Em um mercado altamente competitivo, as construtoras (particularmente as firmas pequenas) podem encontrar dificuldades para realizar um moderno sistema de gerência dos materiais. Não obstante, os benefícios a longo prazo são significativos. Sistemas bons de administração de materiais são essenciais para aquelas companhias que querem permanecer competitivas no futuro.

Alguns estudos no campo da administração de materiais concluíram que um efetivo sistema de administração de materiais irá resultar em 6 a 8% de melhora na produtividade, aumento do fluxo de caixa, redução do volume de excesso de materiais, redução de recursos humanos para a administração de materiais, melhora na performance do fornecedor, redução física do armazém, realização de compras com descontos, minimização do impacto de mudança de pedidos e diminuição dos projetos atrasados (CII, 1988).

4.2 Estruturação do problema

A estruturação do problema segue o fluxograma de atividades proposto por Morais&Almeida (2003) na figura 4.2.

Essa fase é de extrema importância para o processo decisório, pois, para se compreender a complexidade de uma situação em que se pretende intervir, torna-se necessário começar

pela análise e caracterização da situação problemática em causa e pelos subsistemas inter-relacionados, o que envolve a identificação de atores, elementos característicos do problema, alternativas, critérios de avaliação e caracterização da problemática em questão, concluindo com a escolha do método multicritério mais adequado e do número de categorias.

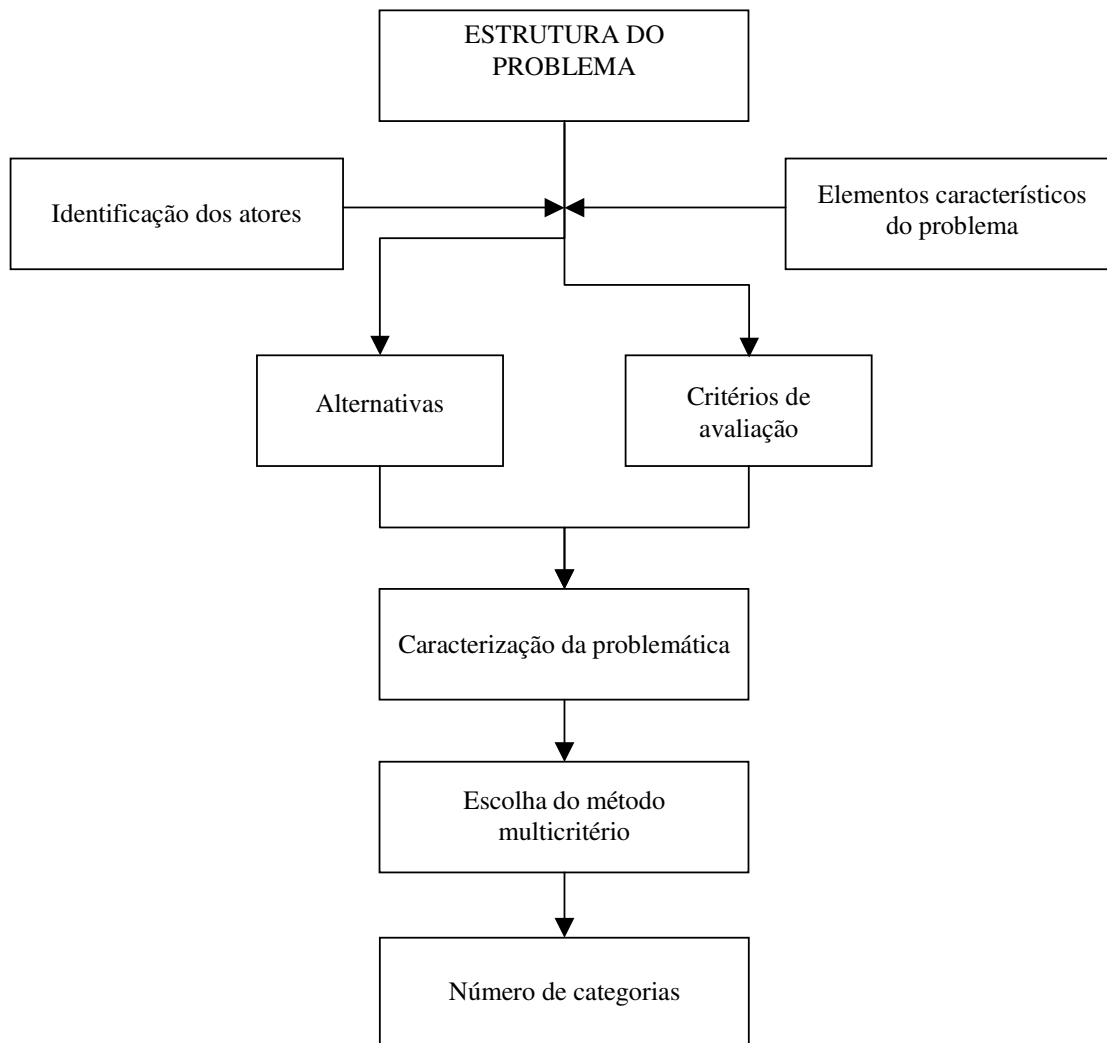


figura 4.2 –Fluxograma das atividades (Adaptado de Moraes&Almeida, 2003)

4.2.1 Identificação dos atores

Um processo de tomada de decisão é constituído por “atores” que intervêm de alguma maneira no processo. Esses assumem um papel fundamental, visto que por meio de suas intervenções condicionam a decisão em função dos sistemas de valores dos quais são portadores.

Atores são pessoas que têm uma posição no contexto decisional, têm interesses comuns nos resultados das decisões e influenciam na decisão mediante seus valores individuais.

O decisor é aquele a quem o processo decisório se destina, e que tem o poder e a responsabilidade de ratificar uma decisão e assumir suas conseqüências.

Nesse contexto, para o problema estudado, o modelo proposto foi elaborado para apoiar o engenheiro da obra alvo do estudo de caso, sendo ele chamado de decisor.

4.2.2 Elementos característicos para a avaliação

Para a realização da caracterização do problema, alguns dados deverão ser coletados da empresa para que, com essas informações, seja possível avaliar as alternativas à luz de cada um dos critérios estabelecidos.

Os principais dados a serem levantados são:

- Composição de custo unitário da obra estudada;
- Informações sobre a gestão de materiais da empresa;
- Levantamento do fluxo de informações;
- Tempo de entrega médio dos materiais pelos fornecedores.

4.2.3 Alternativas

As alternativas do modelo são os materiais definidos no orçamento da obra estudada.

Cada elemento do projeto é materializado por meio de atividades que consomem diversos recursos, dos quais dois são comuns a todas elas, quaisquer que sejam: a mão-de-obra nelas empregada e o custo dos diferentes insumos que as compõem, servindo o custo, no caso, de denominador comum de todos os insumos utilizados.

No Brasil, é usual expressar os insumos gastos em função do seu custo traduzido em moeda, construindo o somatório desses custos o planejamento de custos do projeto, ou seja, a sua estimativa de custos ou orçamento, servindo esse como referencial para o controle do empreendimento (Limmer, 1997).

A discriminação orçamentária da obra é caracterizada pelos diferentes tipos de custos incorridos na obra, correspondentes às quantidades dos diversos tipos de insumos a ser consumidos.

Por meio da discriminação orçamentária da obra é possível, então, levantar os materiais (insumos materiais) que serão utilizados, como alternativas para o modelo.

4.2.4 Critérios de avaliação

Segundo Roy (1996), chama-se critério uma “ferramenta” que permite comparar alternativas de acordo com um particular “eixo de significância” ou com um “ponto de vista”. Mais precisamente, um critério é uma função de valor real sobre um conjunto “A” de alternativas tal que permita comparar duas alternativas a e b , de acordo com um ponto de vista particular sobre uma base única entre dois números $g(a)$ e $g(b)$.

A família de critérios deve representar de forma clara e correta o juízo de valores do decisor e deve ser efetuada com base nos objetivos do decisor, envolvendo, portanto, sua participação.

Foram definidos três critérios pelo decisor que buscou com eles avaliar os aspectos financeiros, de transporte e operacional dos materiais.

Valor do investimento

Esse é um critério financeiro e mensurável. O valor do investimento em materiais é importante tanto para o fluxo de caixa da empresa como para o controle de armazenagem (para evitar roubos e estragos). Esse critério é objetivo e avaliado pelo orçamento discriminado da obra e é calculado pela multiplicação da quantidade de materiais pelo custo unitário.

Lead time

É o tempo médio estimado pelo fornecedor para a entrega dos materiais após o pedido de compra. Esse critério é importante visto que os materiais que possuem um *lead time* grande devem ser requisitados pelo engenheiro com antecipação para que o material não falte na obra. O valor do *lead time* é fornecido pelo engenheiro da obra.

Esse valor não é precisamente sabido. É fornecido pelo usuário, porém é satisfatório para a classificação de estoques (Flores & Whybark, 1986 e 1987; Flores *et al* ,1992; Lenard & Roy ,1995).

Impacto da falta

Esse critério procura representar o fator operacional dos materiais, isto é, avaliar o impacto da falta do material na operação da obra. Trata-se de um fator importante, tendo em vista que materiais com custo baixo normalmente não recebem o devido apreço do engenheiro e isso pode ocasionar atraso na produção caso eles falem na obra. Por se tratar de um critério subjetivo, foram adotados os números de serviços com que os materiais estão relacionados para avaliar o impacto da falta. Quanto maior esse número, mais importante ele é para a operação. Esse número é avaliado olhando-se a composição de custo unitária de cada serviço da obra em que o material está inserido.

4.2.5 Caracterização da problemática

Roy (1996) define a palavra problemática como sendo a concepção do analista em relação à forma de abordagem do problema, como serão direcionadas as investigações e como os resultados serão apresentados.

De acordo com as definições já apresentadas no capítulo 2, o problema de apoio à decisão ajusta-se à problemática de referência de classificação $P\beta$.

Com a problemática de classificação ($P\beta$), tem-se como objetivo esclarecer a decisão por uma triagem resultante da alocação de cada ação a uma categoria (ou classe). As diferentes categorias são definidas *a priori* com base em normas aplicáveis ao conjunto de ações. O resultado pretendido é um procedimento de classificação (Gomes *et al*, 2002).

Para a classificação dos materiais da obra utilizando múltiplos critérios com o intuito de apoiar o processo de decisão do engenheiro, essa é a problemática mais adequada ao problema.

4.2.6 Escolha do método multicritério

Os modelos quantitativos podem ser caracterizados em razão de poderem ser investigados pelas técnicas de análise matemática. A aplicação dessas técnicas é especialmente necessária para se obter de algum modo uma decisão estruturada para o problema indicado. Para se obter um modelo quantitativo, todas as variáveis têm de ser restringidas para serem cardinalmente mensuráveis. Além disso, o modelo deve ser bastante simples de modo que a matemática possa ser aplicada com sucesso.

A escolha do método empregado depende do tipo de problema em análise, do contexto estudado, dos atores envolvidos, da estrutura de preferências e do tipo de resposta que se deseja alcançar, ou seja, qual a problemática de referência (Gomes *et al*, 2002).

Em muitos casos, um modelo quantitativo descreve claramente apenas uma seção pequena do problema real que está sendo investigado. Apesar de tal situação, espera-se que as decisões determinadas que usam o modelo quantitativo possam ser de alguma relevância para o problema real. Assim, a qualidade de uma decisão dependerá freqüentemente do modelo quantitativo usado. Desde que para uma situação especial existirá geralmente mais de um modelo, é necessário selecionar o mais adequado.

Para o caso em estudo, a problemática é de classificação, uma problemática $P\beta$, e para tal foi escolhido o método ELECTRE TRI, que se aplica perfeitamente ao caso em estudo.

Ao usar o ELECTRE TRI, o decisor deve determinar valores de diversos parâmetros (os perfis que definem os limites entre as categorias, pesos, limiares...), que mesmo que possam

ser interpretados, é difícil fixá-los diretamente e ter um claro entendimento global das implicações que esses valores têm para o resultado do modelo.

Para esses casos em que o decisor não possa dar valores explicitamente aos parâmetros do ELECTRE TRI, será proposto o modelo de Mousseau & Slowinski (1998) para inferir os parâmetros do ELECTRE TRI com uma análise de exemplos atribuídos pelo decisor, isto é, dos julgamentos holísticos, já abordado no capítulo 2.

Então, para a aplicação do modelo proposto, com o uso do ELECTRE TRI, o analista terá duas opções de acordo com o perfil do decisor. Se o decisor for capaz de determinar os parâmetros do ELECTRE TRI, será utilizado o modelo do método normalmente, caso contrário, isto é, se o decisor não for capaz de estabelecer esses parâmetros será utilizado o modelo de inferência de parâmetros proposto por Mousseau & Slowinski (1998), e com os resultados dos parâmetros desse modelo, será utilizado o método ELECTRE TRI.

A figura 4.3 ilustra essa situação.

4.2.7 Número de categorias

Em construção civil, são utilizadas normalmente três práticas gerenciais relativas aos materiais.

Para materiais mais simples do ponto de vista de tempo de entrega, custo e impacto de falta, adota-se a prática de comprá-los em grande quantidade e estocá-los na obra, justamente pela simplicidade que os materiais apresentam, não exigindo do engenheiro uma atenção constante.

Há os materiais que são mais complicados, seja pelo alto valor, seja pelo longo tempo de entrega, e/ou dependência dele em vários serviços, de maneira que sua falta causa interrupção na obra, o que faz com que o engenheiro estude caso a caso o sistema de compra que será utilizado para cada material, de acordo com os empecilhos que esses materiais possuem, e daí demandam uma atenção constante do engenheiro.

Existem, igualmente, os materiais que estão entre esses dois casos e que são pedidos de acordo com a fase da obra e da necessidade.

Nesse caso, pode-se verificar que, na prática, conta-se com três categorias para a classificação dos materiais, o que irá determinar a forma como o engenheiro irá definir as políticas de compras, sendo uma categoria correspondente aos materiais “mais importantes” e que exigem atenção enorme do engenheiro (K^+ da segmentação tricotômica), os materiais “menos importantes” (K^-) e os que ficam no nível intermediário ($K^?$).

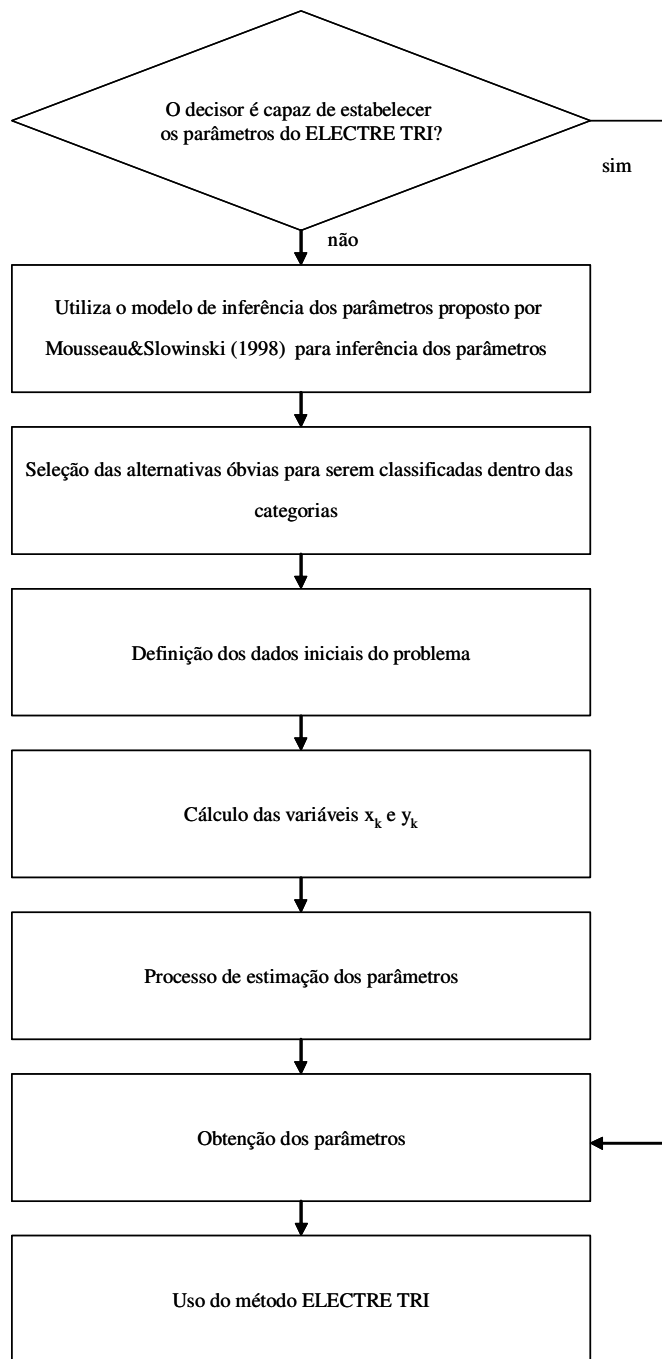


figura 4.3- Fluxo de definição dos parâmetros do ELECTRE TRI

Vale destacar que o escopo do trabalho prevê uma visão macro dos materiais, dividindo-os em três classes sob a ótica da visão multicritério. Posteriormente há de se fazer um estudo micro de cada uma dessas classes para a análise das políticas de reposição que serão adotadas respondendo às perguntas do quando comprar e do quanto comprar.

Nesse estudo micro deverá ser analisado o relacionamento desses materiais com a Rede PERT (*Program Evaluation and Review Technique* – Técnica de Revisão e Avaliação de Programa), o contrato que terá de ser feito com os fornecedores para uma grande quantidade de materiais que serão utilizados durante toda a obra e outros detalhes. O detalhamento desse trabalho está no nível tático, de extrema importância para o gerenciamento dos materiais da obra, pois é a partir dessa categorização que poderá ser analisada a política a ser adotada, a qual compreende um trabalho de nível operacional.

Então, de acordo com o que foi adotado na prática, os materiais serão qualificados pelo ELECTRE TRI em três grupos, mas nada impede que, num caso particular, mais classes sejam adicionadas para uma obra específica ou para um outro caso fora do contexto da construção civil.

5 APLICAÇÃO DO MODELO

A aplicação do modelo com o apoio do método multicritério foi realizado com um estudo de caso em um empreendimento na Região Metropolitana do Recife, em que o engenheiro responsável disponibilizou o material necessário ao estudo e se dispôs a realizar a aplicação do modelo. Esse modelo foi tratado sob a ótica da problemática de classificação, tendo sido utilizado o método ELECTRE TRI. Um método de apoio à decisão, desenvolvido para a classificação de materiais de estoque aplicado à construção civil, é descrito neste capítulo.

5.1 Descrição da empresa

O estudo de caso foi realizado numa empresa construtora e incorporadora certificada com ISO 9001/2000 com vinte anos de mercado. Encontra-se sediada no Recife e tem como área de atuação os mercados público e privado.

A empresa é classificada como de médio porte, segundo o SEBRAE (2004). Conta com 10 empregados no escritório principal, enquanto nas obras existem aproximadamente 250 empregados. Este último número inclui engenheiros, estagiários, mestres e funcionários de apoio de obra.

A construtora já realizou mais de duzentos empreendimentos para os clientes públicos e particulares e na época da realização do estudo possuía três obras em andamento.

Uma característica importante da empresa é que, nos últimos dois anos, vem implantando um sistema de gestão da qualidade e vem encontrando dificuldades no processo de suprimentos, por não ter um sistema de informação interligado entre o contas a pagar, orçamento e pedidos.

5.1.1 Análise da obra estudada

A obra alvo deste estudo de caso é composta de seis blocos, tendo cada um quatro pavimentos assim distribuídos: um térreo e três pavimentos-tipo.

Cada pavimento-tipo possui oito apartamentos, medindo cada um 34 m². O prazo máximo de entrega da obra está previsto para novembro de 2004.

5.1.2 Estrutura organizacional da empresa

A estrutura organizacional da empresa será apresentada, já que o processo de tomada de decisões está fortemente ligado a essa estrutura.

No organograma da empresa (figura 5.1), pode-se perceber que da área administrativo-financeira dependem o setor financeiro, recursos humanos, planejamento, orçamento e custos e o departamento pessoal; da área técnica dependem os departamentos de assistência técnica, obras e setor de suprimentos.

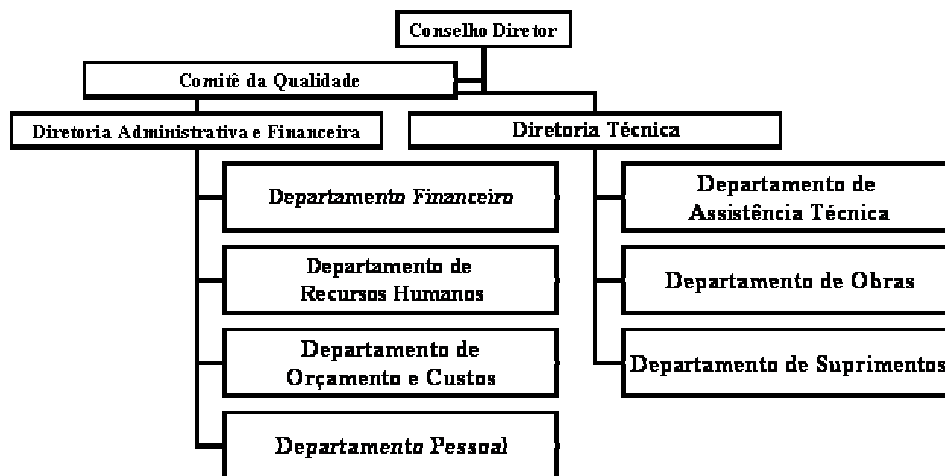


figura 5.1- Organograma da empresa

As principais funções relacionadas com o objeto de estudo são os departamentos de planejamento, orçamento e custos, obras e suprimentos e, portanto, as principais funções e características dessas áreas são:

- Departamento de Orçamento e Custos: essa área encarrega-se principalmente da elaboração de orçamentos para obras públicas (participação de licitações) e obras privadas. O orçamento para obras públicas é realizado de acordo com o descrito no edital, e o das obras privadas de acordo com os projetos (que são terceirizados). Esse é o setor que garante que os diversos projetos sejam compatíveis, bem como a coordenação entre os projetistas. É desse departamento, também, a elaboração de um cronograma físico-financeiro inicial para a programação do fluxo de caixa para a obra. Mensalmente são avaliados os custos da obra e é feita uma comparação com o que foi orçado. Para tanto, avalia-se o avanço físico da obra e coletam-se as notas fiscais.
- Departamento de Obras: é encarregado da administração da obra. Cabe ao engenheiro da obra controlar a realização da obra segundo os projetos e com qualidade que garanta o não-aparecimento de problemas pós-entrega ocasionados por um controle inadequado durante a execução. É importante

mencionar que, não existindo uma área de planejamento na empresa, o engenheiro torna-se o responsável pelo planejamento de sua obra. Ele também é o responsável por encaminhar os pedidos de materiais à central de suprimentos e está autorizado a efetuar compras no caso de existir alguma urgência na obra. Além do engenheiro, em cada obra existem um mestre, um almoxarife e um estagiário. É função do almoxarife o recebimento dos materiais, arquivamento das notas fiscais e controle do estoque, juntamente com o engenheiro.

- Departamento de Suprimentos: caracteriza-se por ser centralizado. As obras fazem seus pedidos de compras e os transmitem via fax ou por meio eletrônico ao escritório central. A função dessa área é, basicamente, a de uma central de compras de materiais que não precisam de um conhecimento técnico específico para serem realizadas. Os materiais que necessitam de conhecimento ou critério específico para decidir sobre a compra, tais como esquadrias, produtos novos e outros, são realizadas diretamente pelo diretor técnico. As aprovações dos pedidos e cotações dependem exclusivamente do diretor técnico. No caso de alguns produtos, como areia, concreto e outros, a central de suprimentos define o preço unitário com o fornecedor e as obras pedem diretamente a quantidade necessária.

5.1.3 Gestão de materiais

A responsabilidade pelo planejamento da produção e pela requisição dos materiais na obra é do engenheiro.

Normalmente, existem reuniões semanais com o diretor técnico e os engenheiros para revisar as programações das obras e avaliar o cronograma. Além disso, nas obras é verificado o avanço das atividades pelo engenheiro e analisado o estoque com o almoxarife para a programação de compras. O que ocorre é que, diariamente, são solicitados pedidos de compras de materiais. O problema desses pedidos diários é que constantemente os materiais que são requisitados são necessários na obra com urgência, o que ocasiona exceções no processo de compra que é realizado diretamente pela obra, e/ou atraso na entrega do material, atrasando assim o cronograma. Não existe, portanto, uma sistemática de controle de materiais.

Há um procedimento para o recebimento e o armazenamento de materiais em obra que é realizado pelo almoxarife, de acordo com tabelas específicas do sistema de qualidade.

Quanto ao sistema informatizado que dá suporte ao processo de suprimentos, embora as áreas de orçamento e controle de custos, suprimentos e planejamento de obra precisem de informações comuns, os sistemas não são interligados, o que dificulta a troca de informações.

5.1.4 Fluxo de Informações

A empresa tem uma sistemática para a realização de pedidos de compras que será descrita a seguir:

- Requisição de materiais: todos materiais necessários na obra, com exceção dos que podem ser solicitados diretamente pela obra, tais como areia e bloco cerâmico, têm de ser solicitados por uma requisição de materiais. Para a identificação das necessidades de materiais não existe um procedimento formal, e nessa etapa existem problemas. O almoxarife e o engenheiro, com a rotina diária de trabalho, não conseguem controlar o estoque de materiais, e normalmente ocorrem problemas de falta de material na obra e/ou materiais que são solicitados com pouco estoque na obra e, portanto com um prazo de entrega pequeno, o que causa problemas constantes e gera compras de materiais em armazéns de construção, o que significa compras sem economia. Em alguns casos, o material é solicitado diretamente, por telefone, pelo engenheiro da obra ao diretor técnico, para que o prazo seja diminuído, isto é, para que o procedimento de compra seja alterado. No procedimento formal, a necessidade de materiais deve ser verificada pelo engenheiro juntamente com o almoxarife ao serem examinados o estoque de materiais e o ritmo de produção, e uma requisição com os materiais seja preenchida com o uso de um formulário que pode ser enviado à central de suprimentos por fax ou por meio eletrônico (caso a obra possua computador com Internet).
- Aprovação da requisição: todas as requisições são avaliadas e aprovadas pelo diretor técnico.
- Formulação do pedido ao fornecedor: com a requisição aprovada, é preenchido um pedido de cotação de compra para os fornecedores cadastrados. No caso de fornecedores não-cadastrados, eles devem ser avaliados pelo diretor técnico pelo procedimento de avaliação de fornecedores, para que a empresa possa comprar deles.
- Cotação: os fornecedores enviam a cotação de preços, a qual é avaliada pelo diretor técnico que aprova a compra.
- Confirmação da compra: já aprovada a cotação, são emitidas duas vias do pedido do material com especificações completas assinadas pelo diretor técnico. Uma via fica na

obra e uma com o fornecedor, a qual é enviada via fax e depois arquivada no setor de suprimentos.

- Recebimento do material: quando o material chega à obra, ele é verificado pelo almoxarife que o compara com o pedido de compra, com a nota fiscal e com a tabela de inspeção de materiais. Com o material aceito, a nota fiscal é recebida em duas vias: uma fica na obra e a outra é enviada ao escritório central (orçamento e custos). Se o material for rejeitado, ele pode ser devolvido completo ou pode-se combinar com o fornecedor uma forma de resolver o impasse.

5.2 Aplicação do Modelo

5.2.1 Levantamento dos materiais

Para o levantamento dos materiais, foram avaliados os serviços da obra com as respectivas composições de custos unitários, e daí foram retirados os insumos que serão classificados.

A relação de materiais que serão utilizados para classificação está na tabela A.1, no Apêndice 1.

5.2.2 Avaliação das alternativas

As avaliações das alternativas em relação aos critérios, tanto em valor absoluto como em importância relativa, merecem uma atenção especial, por se tratar do instrumento pelo qual são gerados os dados para o modelo e em que as alternativas manifestam suas características, representando os aspectos intrínsecos de cada sistema.

Os critérios considerados foram Custo do Investimento (CI), *Lead Time* (LT) e Impacto de Falta (IF).

Dentre os critérios considerados, todos possibilitam uma comparação bastante objetiva. São eles: o custo do investimento (CI), que é expresso em medidas monetárias; o *lead time* (LT), que é considerado em dias, e o impacto de falta (IF), que é avaliado pela quantidade de serviços a que o material está relacionado.

A partir dos itens avaliados de forma quantitativa, foi elaborada a tabela A.2, no apêndice 2, composta pelos conceitos de cada uma das alternativas para cada critério considerado.

Como alguns materiais fazem parte do mesmo serviço e possuem o mesmo *lead time*, visto que são comprados do mesmo fornecedor, é feita uma simplificação da quantidade de materiais, agregando esses materiais em um só material, somando-se os custos de

investimentos. Não há problema em realizar esse tipo de agregação, visto que os materiais agregados têm a mesma finalidade e possuem as mesmas condições entre os critérios considerados; logo, a política adotada para o somatório deles será a mesma que para um só, individualmente. As tabelas A.3 a A.10 no apêndice 2 mostram essa agregação.

5.2.3 Aplicação do método ELECTRE TRI

A partir desse ponto em diante, as alternativas foram codificadas pela letra A, numeradas de A_1 a A_{81} , representando cada uma das alternativas da avaliação, conforme a tabela A.11, no apêndice 3.

A construção do modelo para o ELECTRE TRI foi feita em cinco etapas:

1. Definição dos perfis $g_j(b_h)$ que representam os limites superiores das classes 1 a 3. A escolha desses perfis foi feita pelo decisor, no caso o engenheiro da obra. A tabela 5.2 mostra os perfis e a figura 5.1 representa essas classes.

Tabela 5.1- Matriz dos limites das classes $g_j(b_h)$

	CI (R\$)	LT(dias)	IF
b1	4.000	2	1
b2	15.000	8	6

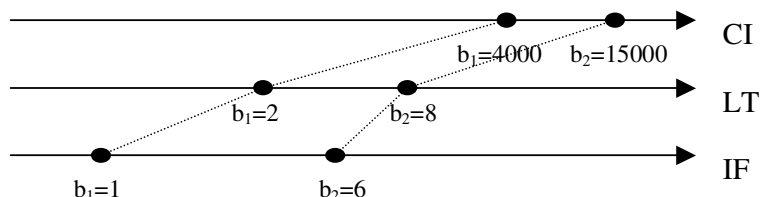


figura 5.2- Definição dos perfis do ELECTRE TRI

2. Conjunto de coeficientes pesos (j_1, j_2, \dots, j_m). É necessária a informação intercritério, correspondente à importância relativa entre os critérios, chamada de peso. Segundo Gomes *et al* (2002), a atribuição de pesos a critérios deve ser feita por comparação de importância, atribuindo o maior peso ao critério julgado como o mais importante. A metodologia de atribuição de pesos empregada foi a de atribuição direta de peso. Primeiramente, foi solicitado que o decisor ordenasse os critérios em ordem decrescente, ou seja, os que fossem julgados como os mais importantes obtinham a melhor posição, sendo permitido haver dois na mesma posição, caso fossem

considerados como tendo a mesma importância. Após isso, o decisor atribuiu pesos a cada um dos critérios, de forma que representassem a importância relativa entre os mesmos. Posteriormente, esses pesos foram normalizados. Esses pesos podem ser vistos na tabela 5.2

Tabela 5.2- Critérios de avaliação e seus respectivos pesos

Critério	Peso
Custo do Investimento (CI)	0,25
<i>Lead Time</i> (LT)	0,35
Impacto de Falta (IF)	0,4

3. Limites de indiferença e preferência: $q_j(b_h)$ e $p_j(b_h)$

Os valores dos limiares de preferência e indiferença para os critérios *Lead Time* e Impacto de falta foram considerados iguais a zero, pois não são aplicáveis ao tipo de escala utilizada. Isso equivale a usar critérios verdade ao invés de pseudocritérios para esses critérios.

Para o critério Custo de investimento aplica-se um percentual de 20% sobre o valor de b_h para a definição do limiar de preferência, e um percentual de 10% para a definição do limiar de indiferença.

4. Limiares de veto $V_j(b_h)$.

O limiar de veto para todos os critérios foi definido como 30% do valor de $g(b)$

$$v = 0,3 * g(b) \quad \text{para CI, LT, IF}$$

O conjunto de limiares de veto estão definidos na tabela 5.3, abaixo:

Tabela 5.3- Matriz dos limiares de veto $V_j(b_h)$.

	CI	LT	IF
$V_j(b_1)$	1.200	0,6	0,3
$V_j(b_2)$	4.500	2,4	1,8

5. Nível de corte $\lambda=0,5$

A escolha desse valor foi feita com base na análise de sensibilidade, de modo que a classificação fosse a melhor possível.

Depois de definidos os parâmetros, passa-se para a etapa dos cálculos, para que o método possa estabelecer uma relação de sobreclassificação entre uma alternativa a e uma alternativa de referência b_h . Para essa finalidade, os seguintes índices foram calculados:

- Índice de concordância por critério $c_j(a, b_h)$ e $c_j(b_h, a)$, que é calculado pela fórmula:

$$c_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Os resultados encontram-se nas tabelas A.12 a A.14, no apêndice 4.

- Índice de concordância global $C(a, b_h)$ e $C(b_h, a)$, que é calculado pela fórmula:

$$C(a, b_h) = \frac{\sum_{j=1}^n k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j=1}^n k_j}$$

A matriz encontra-se na tabela A.15, no apêndice 4.

- Índice de discordância por critério $d_j(a, b_h)$ e $d_j(b_h, a)$, que é calculado pela fórmula:

$$d_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \\ 1 & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h) \\ \frac{g_j(b_h) - g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)} & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Os resultados encontram-se nas tabelas A.16 a A.18, no apêndice 4.

- Índice de credibilidade $\sigma(a, b_h)$, que é calculado pela fórmula:

$$\sigma(a, b_h) = C(a, b_h) \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - C(a, b_h)}$$

$$\text{onde } \bar{F} = \{j \in F : d_j(a, b_h) > C(a, b_h)\}$$

A matriz encontra-se na tabela A.19, no apêndice 4.

Com os valores de $\sigma(a, b_h)$, $\sigma(b_h, a)$ e λ determinam-se as situações de preferência entre a e b_h , que se encontra na tabela A.20, no apêndice 4.

Dados esses parâmetros, os materiais são classificados em três classes mediante os procedimentos otimistas e pessimistas do ELECTRE TRI, que estão na tabela A.21, no apêndice 4.

A partir dessa classificação é que se torna possível analisar a prática gerencial a ser adotada para políticas de reposição de cada uma das classes de materiais.

5.2.4 Análise de sensibilidade

Para analisar a influência do comportamento do modelo quanto às variações impostas, foi feita uma análise de sensibilidade dos pesos dos principais critérios do modelo e dos parâmetros envolvidos, tais como: os limites de preferência e indiferença, os limiares de veto, o nível de corte e os perfis que representam as classes.

Análise de sensibilidade 1: Variação no parâmetro λ nível de corte de 0,5 para 0,6.

Nessa primeira simulação, com $\lambda=0,6$ e considerando-se os perfis utilizados na primeira aplicação, obteve-se uma pequena variação do resultado (tabela A.22, do apêndice 4). O material A_{61} , que obteve conceito 3 e 2 nas avaliações otimistas e pessimistas respectivamente na primeira aplicação, passou a ser incomparável.

Isso se deve ao aumento da exigência para declarar a afirmação aSb_h , e o conseqüente aumento das relações de incomparabilidade.

Análise de sensibilidade 2: Variação nos pesos dos critérios.

Para se analisar a influência dos critérios na avaliação, foi feita uma análise de sensibilidade dos pesos dos principais critérios do modelo.

- Análise 1: diminuição de 20% no critério impacto de falta:

Critério	CI	LT	IF
Peso	0,29	0,39	0,32

- Análise 2: aumento de 20% no critério impacto de falta:

Critério	CI	LT	IF
Peso	0,21	0,31	0,48

Esses resultados podem ser vistos na tabela A.23, do apêndice 4.

O que pode ser observado é que, com o aumento de 20% desse critério, o material A_{61} torna-se incomparável, e A_{46} , que antes havia recebido classificação 3 no procedimento pessimista, passou para 2.

- Análise 3: diminuição de 20% no critério custo de investimento e aumento de 20% no critério *lead time*:

Critério	CI	LT	IF
Peso	0,2	0,42	0,38

- Análise 4: aumento de 20% no critério custo de investimento e diminuição de 20% no critério *lead Time*:

Critério	CI	LT	IF
Peso	0,3	0,28	0,42

O material A₆₁ torna-se incomparável com essa variação.

Os resultados podem ser vistos na tabela A.24, do apêndice 4.

Análise de sensibilidade 3: variação nos limites das classes em 10% para mais:

	CI (R\$)	LT (dias)	IF
b ₁	4.400	2,2	1,1
b ₂	16.500	8,8	6,6

Houve uma grande variação dos resultados devido ao aumento da exigência para cada uma das classes. O material A₆₁ torna-se incomparável com essa variação; o material A₁, que tinha recebido classificação 3 no procedimento otimista, passou para 2; os materiais A₈, A₁₁, A₁₃, A₁₄, A₂₁, A₃₁, A₃₃, A₃₇, A₃₉, A₄₈, A₄₉, A₆₅, A₇₃ e A₇₉, que haviam recebido 2 no mesmo procedimento, passaram para 1; os materiais A₁₇ e A₇₇, que haviam recebido classificação 2 no procedimento pessimista, passaram para 1, e A₆₀ e A₄₆ de 3 passaram para 2.

Os resultados podem ser vistos na Tabela A.25, no apêndice 4.

Análise de sensibilidade 4: diminuição e aumento em 10% do valor do veto.

Não houve alteração dos resultados e estes podem ser vistos na Tabela A.26.

Análise de sensibilidade 5: aumento e diminuição em 10% nos limiares p e q.

Não houve alteração dos resultados e esses podem ser vistos na Tabela A.27.

5.2.5 Procedimento de inferência dos parâmetros

Mousseau & Slowinski (1998) propuseram um modelo de obter os perfis, limiares de preferência e indiferença, nível de corte e pesos a partir de exemplos atribuídos pelo decisor.

De acordo com os autores, é difícil para o decisor estabelecer os parâmetros do ELECTRE TRI, e quando isso é feito, fica difícil entender as implicações que esses parâmetros estabelecem.

Esse procedimento será aplicado, a título ilustrativo, visto que, o decisor foi capaz de definir os parâmetros sem a necessidade de um procedimento alternativo, com a pretensão de mostrar a aplicabilidade desse modelo para os casos em que os parâmetros do ELECTRE TRI não possam ser estabelecidos pelo decisor pelos motivos já justificados e visando uma comparação dos parâmetros estabelecidos no item 5.2.3 e os inferidos a partir de exemplos atribuídos pelo mesmo decisor.

Para que o modelo tenha representatividade, o subconjunto A^* de alternativas deve ser definido tal que o número de alternativas definidas nas categorias seja igual ou suficientemente grande para conter uma informação suficiente. Além disso, para as alternativas escolhidas o decisor deve ter preferências claras, isto é, deve especificar uma categoria para a alternativa, considerando suas avaliações em todos os critérios.

Esse procedimento foi realizado com as alternativas da tabela 5.4, que foram facilmente classificadas pelo decisor dentro das categorias.

Tabela .5.4- Matriz de classificação das alternativas

Alternativas	CI	LT	IF	categoria
A ₆₀	13.805,6	7	14	3
A ₇₀	32.530,06	7	18	3
A ₁₆	11.503,2	5	1	2
A ₇₇	3.685,82	2	3	2
A ₄₈	392,83	2	1	1
A ₇₃	1.170,00	1	1	1

As classificações realizadas foram às obtidas pelo método ELECTRE TRI pelos procedimentos pessimista e otimista com os parâmetros estabelecidos pelo decisor.

Para o cálculo da inferência dos parâmetros, alguns passos devem ser seguidos:

Definição dos dados iniciais do problema

Para dados iniciais foi estabelecido que:

- Os pesos foram todos definidos como iguais, com valor igual a 1;
- O perfis foram definidos como: $g_j(b_h) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sum_{a_i \rightarrow C_{h-1}} g_j(a_i)}{n_{h-1}} + \frac{\sum_{a_i \rightarrow C_h} g_j(a_i)}{n_h} \right\}$ que, de acordo

com essa regra heurística, estão definidos na tabela 5.5;

- Os limiares de preferência e indiferença foram fixados em: $q_j(b_h) = 0.1g_j(b_h)$
 $p_j(b_h) = 0.2g_j(b_h)$ para o

critério de custo de investimento, coincidindo com o estabelecido pelo decisor na

aplicação anterior e $q_j(b_h) = 0.01g_j(b_h)$
 $p_j(b_h) = 0.02g_j(b_h)$ para os critérios de *lead time* e impacto de

falta, que foram estabelecidos propositalmente pequenos para parecer com os dados iniciais estabelecidos anteriormente pelo decisor (critérios verdadeiros e, conseqüentemente, $p=q=0$). Esses valores encontram-se na tabela 5.6;

- O nível de corte foi estabelecido em $\lambda=0.75$.

Tabela 5.5- Perfis iniciais para os limites das categorias

	CI	LT	IF
b_2	15.381,16	5,25	9
b_1	4.187,96	2,5	1,5

Tabela 5.6- Valores iniciais para os limiares

	CI	LT	IF
$q(b_2)$	1.538,12	0,0525	0,09
$p(b_2)$	3.076,23	0,105	0,18
$q(b_1)$	418,8	0,025	0,015
$p(b_1)$	837,6	0,05	0,03

Cálculo das variáveis x_k e y_k

Os valores iniciais de x_k e y_k são apresentados na tabela 5.7 e são calculados de acordo com as fórmulas apresentadas abaixo:

$$\frac{\sum_{j=1}^m k_j c_j(a_k, b_{hk-1})}{\sum_{j=1}^m k_j} - x_k = \lambda$$

$$\frac{\sum_{j=1}^m k_j c_j(a_k, b_{hk})}{\sum_{j=1}^m k_j} + y_k = \lambda$$

$$\text{onde: } \hat{c}_j(a_k, b_h) = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{-5.55}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} \cdot (g_j(a_k) - g_j(b_h)) + \frac{p_j(b_h) + q_j(b_h)}{2}\right]}$$

Tabela 5.7- Valores iniciais para as variáveis

	x_k	y_k
A_{60}	0,228	0,750
A_{70}	0,250	0,750
A_{16}	-0,083	0,749
A_{77}	-0,417	0,750
A_{48}	0,250	0,750
A_{73}	0,250	0,750

Como para as alternativas A_{16} e A_{77} os valores de x_k são negativos, isso significa dizer que com esses dados iniciais o ELECTRE TRI classificaria essas alternativas de forma

diferente da classificação realizada pelo decisor, já que, para a classificação coincidir, todos os valores de x_k e y_k teriam de ser positivos.

Com esses valores de parâmetros iniciais, as alternativas A_{16} e A_{17} seriam classificadas na categoria 1, enquanto o decisor as classificou na categoria 2.

Para o valor inicial de α , que é definido como o menor valor entre x_k e y_k , tem-se:

$$\alpha = -0,417$$

Inferência dos parâmetros

De posse dos dados iniciais, a inferência dos parâmetros usando um problema de otimização é realizado pelo Solver do Microsoft Excel 2002.

As variáveis do problema e as restrições foram definidas no capítulo 2.

Foi adicionada ao problema a restrição $k_j \leq 1/2 \sum_{i=1}^m k_i, \forall j \in F.$, já que nenhum critério é dominante nesse caso.

Os valores dos parâmetros calculados pelo modelo são mostrados nas tabelas 5.8 e 5.9.

Tabela 5.8-Valores "ótimos" dos perfis dos limites das categorias

	CI	LT	IF
b_2	15.381,16	5,25	9
b_1	4.187,96	2,5	1,5

Tabela 5.9- valores dos limiares " ótimos"

	CI	LT	IF
$q(b_2)$	1.538,12	0,0525	0,09
$p(b_2)$	3.076,23	0,105	0,18
$q(b_1)$	418,8	0,025	0,015
$p(b_1)$	837,6	0,05	0,03

Além disso, $\alpha=0$, $\lambda=0,5$, $k_1=0,75$ $k_2=0,75$ $k_3=1,5$.

Os valores finais de entre x_k e y_k , são mostrados na tabela 5.10.

O modelo obtido é capaz de classificar as alternativas A^* da mesma maneira que o decisor as classificou. A classificação do modelo é consistente para todo $\lambda \in [0,5,1]$, o que prova a consistência do modelo.

Tabela 5.10- Valores finais de x_k e y_k

	x_k	y_k
A_{60}	0,483	0,500
A_{70}	0,500	0,500
A_{16}	0,000	0,499
A_{77}	0,000	0,500
A_{48}	0,500	0,500
A_{73}	0,500	0,500

5.2.6 Comparação entre os resultados obtidos

Com o resultado dos parâmetros obtidos pelo modelo de inferência dos parâmetros, é feita uma comparação com os dados iniciais estabelecidos pelo decisor, bem como com as implicações que essas diferenças irão ocasionar na aplicação do ELECTRE TRI com esses parâmetros.

Análise das variáveis

Para o critério custo de investimento, percebe-se que não há muita variação dos parâmetros estabelecidos pelo decisor e dos calculados pelo modelo, pois os valores iniciais de b_1 e b_2 eram iguais a 4.000 e 15.000, respectivamente, e o modelo calculou os valores de $b_1=4.187,96$ e $b_2=15.381,16$. Para os limiares, inicialmente foi estabelecido um limiar de preferência igual a 20% do valor do perfil inicial e um de indiferença igual a 10%; logo, $p(b_1)=800$ e $q(b_1)=400$ e $p(b_2)=3.000$ e $q(b_2)=1.500$, o modelo calculou $p(b_1)=837,6$ e $q(b_1)=418,8$ e $p(b_2)=3.076,23$ e $q(b_2)=1.538,12$. O que se pode afirmar com esse resultado é que para esse critério os parâmetros coincidem.

Para o critério *lead time*, os perfis iniciais eram de: $b_1=2$ e $b_2=8$ e os limiares eram iguais a zero (critério verdade). O modelo calculou os valores de $b_1=2,5$ e $b_2=5,25$ e $p(b_1)=0,05$ e $q(b_1)=0,025$ e $p(b_2)=0,105$ e $q(b_2)=0,0525$. O valor do perfil superior para esse critério foi diminuído; logo, reduz-se a exigência de classificação para a categoria 3 por esse critério. Os limiares no modelo de otimização não poderiam ser iguais a zero devido à aproximação da curva sigmoidal, mas mesmo assim os limiares calculados são muito próximos de zero, o que não interfere no modelo.

Para o critério impacto de falta, os valores iniciais eram de: $b_1=1$ e $b_2=6$, e os calculados foram $b_1=1,5$ e $b_2=9$ e $p(b_1)=0,03$ e $q(b_1)=0,015$ e $p(b_2)=0,18$ e $q(b_2)=0,09$. Como o aumento do valor do perfil, a exigência para que o material seja classificado na categoria 3 por esse critério é maior. Os valores dos limiares são próximos de zero.

Análise dos pesos

Os valores calculados foram $k_1=0,75$ $k_2=0,75$ $k_3=1,5$, normalizando esses valores: $k_1=0,25$ $k_2=0,25$ $k_3=0,5$. O que se observa é que o maior critério é o impacto de falta,

coincidindo com a avaliação do decisor como critério mais importante, porém os critérios de custo de investimento e *lead time* possuem a mesma importância de acordo com o modelo.

Se o decisor tiver certeza de que o *lead time* possui uma importância maior que o custo de investimento, essa restrição pode ser imposta no modelo.

Análise do nível de corte

O nível de corte obtido pelo processo de otimização foi o mesmo estabelecido anteriormente pelo decisor: $\lambda=0,5$.

Resultados do ELECTRE TRI

A matriz dos cálculos com os novos valores estão na tabela A.28, no apêndice 4.

O limiar de veto foi definido de forma que a classificação do ELECTRE TRI para as categorias atribuídas pelo decisor inicialmente continuasse a mesma, e foi definido igual a 30% do valor dos perfis iniciais.

Com esses novos parâmetros, houve uma mudança em relação à classificação anterior.

As relações de incomparabilidade aumentaram, então as alternativas A_{34} , A_{42} , A_{51} , A_{57} , A_{59} e A_{72} , que antes haviam recebido a classificação 2 e 1 nos procedimentos pessimista e otimista respectivamente, tornaram-se incomparáveis, e a alternativa A_{61} , que antes havia recebido a classificação 3 e 2 também se tornou incomparável.

As alternativas A_8 , A_{11} , A_{13} , A_{14} , A_{21} , A_{31} , A_{33} , A_{37} , A_{39} , A_{49} , A_{65} e A_{79} , que na avaliação otimista tinham recebido classificação 2, passaram para a categoria 1, e a alternativa A_{71} da classe 3 foi para 2 na mesma avaliação.

Na avaliação pessimista, a alternativa A_{68} passou da 2 para 3, e a alternativa A_{46} passou da 3 para 2.

Comentários

O fato de os parâmetros serem diferentes ou coincidirem não significa um “acerto” ou “erro” por parte do decisor na definição dos parâmetros iniciais, visto que, se novas alternativas previamente classificadas pelo decisor fossem acrescentadas ao processo de inferência dos parâmetros, valores diferentes desses seriam obtidos.

A aplicação do ELECTRE TRI com os parâmetros calculados a partir de um problema de otimização para inferência de parâmetros consiste em uma alternativa para o decisor que não consegue estabelecer os parâmetros sozinhos, por não entender as implicações desses no modelo.

5.2.7 Aplicação da curva ABC

Para a maioria das obras, a curva ABC é o que é normalmente aplicado para o nível estratégico de administração de materiais.

A curva ABC dos materiais, usando o critério de custo do investimento, que é o normalmente utilizado pelas construtoras, está apresentada na tabela A.29, do apêndice 5, e a figura referente encontra-se na figura A.1, do apêndice 5.

É interessante comparar a diferença entre a aplicação da curva ABC utilizando apenas um critério e o realizado neste trabalho, que faz uso dos critérios mais importantes desse setor, com o intuito de mostrar as distorções que o uso de apenas um critério pode causar no gerenciamento da obra, já que não considera a importância do item em relação ao sistema como um todo.

Para essa comparação, foi utilizado o gráfico da figura A.2, do apêndice 2, em que podem ser vistas claramente as diferenças entre as classificações feitas pelos dois métodos.

Em média, 40% dos materiais obtiveram uma classificação diferente.

Essa comparação foi feita avaliando-se o procedimento pessimista em relação aos parâmetros fornecidos pelo decisor.

Uma comparação entre o procedimento otimista e a curva ABC é feita na figura A.3, do apêndice 5. Quando comparados com essa avaliação, 73% dos materiais são classificados de forma diferente.

A curva ABC também foi comparada com as avaliações pessimista e otimista realizadas pelo ELECTRE TRI com os parâmetros do modelo de inferência dos parâmetros.

Em relação ao procedimento pessimista, há uma diferença na avaliação de aproximadamente 40% dos materiais, e em relação ao otimista, a diferença sobe para 57%. As avaliações encontram-se nas figuras A.4 e A.5, do apêndice 5.

A diferença em relação ao procedimento otimista é maior porque a maior parte da curva ABC consiste nos materiais de classe 1. No procedimento otimista, essa é a classe com menor número de materiais, justamente por esse procedimento julgar os materiais para a classe C_h apenas quando $b_h > a$ (b_h preferível a a), o que significa considerar o “melhor dos casos”, daí o nome “otimista”. Isso torna o material “melhor avaliado”, isto é, classificado para uma categoria superior, deixando a categoria 1 com poucos materiais.

5.2.8 Comentários sobre a aplicação

Para a realização da aplicação do estudo de caso, foi realizada uma descrição da empresa, destacando-se informações que pudessem ser relevantes para o estudo, como a

gestão de materiais da empresa e os problemas estratégicos que a construtora enfrenta nesse setor. Os atores que atuavam no processo foram destacados, bem como as funções que eles desenvolvem no ambiente da gestão de materiais e fluxo de informações.

Diante das características observadas, a problemática de classificação foi a identificada, partindo-se desse ponto para a escolha do método – o ELECTRE TRI.

O método escolhido tem necessidade de elicitação de diversos parâmetros (perfis, limiares, pesos, nível de corte...) do decisor, que raramente consegue explicitá-los com clareza e consciente da influência que os parâmetros implicam no método. No caso em questão, todos esses aspectos foram explicados e várias simulações foram realizadas no processo de explicação do modelo, para que o decisor pudesse perceber a influência dos parâmetros no modelo e assim obter segurança nos parâmetros por ele estabelecidos.

Mesmo assim, um modelo para inferência dos parâmetros utilizando de um problema de otimização foi utilizado, partindo de exemplos atribuídos pelo decisor em categorias, para a elicitação dos parâmetros a partir desses exemplos. Para que esse processo de inferência de parâmetros tenha consistência, o decisor precisa classificar as alternativas facilmente e elas precisam abranger o maior número de informações relevantes possível. Isso acontece, pois, se o decisor não tem certeza da categoria estabelecida para uma alternativa, todo o processo de inferência dos parâmetros será inválido, já que está partindo de classificações “incorretas” ou “com dúvidas”. A mesma coisa acontece se as alternativas escolhidas não tiverem a abrangência de informações requerida pelos dados que serão posteriormente classificados pelos parâmetros inferidos.

O modelo de inferência dos parâmetros foi realizado com todos esses cuidados para que fosse feita uma comparação entre os parâmetros obtidos pelo decisor e aqueles obtidos pelo modelo. Os parâmetros coincidiram para o critério de custo de investimento, mas o mesmo não aconteceu com os outros critérios (*lead time* e impacto de falta), o que não significa que os parâmetros estabelecidos anteriormente estejam “errados”, visto que, se outras alternativas fossem escolhidas, outro resultado seria obtido pelo modelo de inferência dos parâmetros.

O processo realizado oferece ao decisor mais uma alternativa em relação à sua escolha para a classificação dos materiais, já que pode optar pelos resultados obtidos do ELECTRE TRI com a parametrização fornecida por ele, ou por aquela obtida pelo processo de inferência dos parâmetros a partir de um problema de otimização, podendo o decisor escolher aquela que o deixar mais “confiante” em relação a suas preferências, não obtendo nesse caso o “certo” e o “errado”.

Para os critérios de *lead time* e impacto de falta, foram considerados os critérios verdadeiros, pois o uso de pseudocritérios não é apropriado nesse caso, já que os dados são tratados como discretos e, nesse caso, os limiares de preferência e indiferença na relação intracritério perdem seu sentido, sendo necessário desconsiderá-los. O ELECTRE TRI foi desenvolvido para trabalhar com escala contínua, considerando a não-transitividade da relação de indiferença e inserindo a relação de preferência fraca entre as alternativas e as categorias. Assim, não só os limiares de preferência e indiferença não se aplicam ao tipo de escala discreta, como o limiar de veto também perde consistência. Porém, pode ser definido de forma adequada ao problema.

Uma análise de sensibilidade foi realizada em relação aos resultados do ELECTRE TRI com os parâmetros fornecidos pelo decisor para a avaliação do comportamento do modelo quanto às variações impostas.

Uma outra questão a ser considerada no uso do método ELECTRE TRI é que se deve escolher entre os procedimentos pessimista e otimista, ficando a critério do decisor qual dos procedimentos será adotado para a classificação dos materiais.

Uma comparação entre os resultados do ELECTRE TRI e da curva ABC foi realizada demonstrando um desencontro, inicialmente previsto, entre esses procedimentos, e alertando dessa maneira o decisor para as distorções que ocorrem se não forem considerados outros critérios para a classificação dos materiais.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

6.1 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo a aplicação de métodos de apoio à decisão multicritério para a classificação dos itens de estoque da construção civil à luz dos critérios estabelecidos pelo decisor. A abordagem *outranking* (sobreclassificação) foi a adotada, em especial o método ELECTRE TRI, que revelou um grande potencial de aplicação em problemas desse contexto, pois trata do tipo de problemática P β e apresenta resultados satisfatórios.

O problema de gerenciamento de estoques em construção civil foi discutido, apresentando as principais características do setor. Os principais modelos utilizados na literatura para esse tipo de problema foram pesquisados e adaptados para o problema em questão.

O modelo proposto apresentou uma visão geral do problema e foi aplicado com o estudo de caso em uma obra na Região Metropolitana do Recife, em uma construtora que apresenta problemas para gerenciamento de estoque.

Um aspecto importante do estudo foi a construção da matriz de classificação, em que materiais (ações) utilizados foram obtidos da composição do custo unitário da obra e dos critérios de avaliação que, coerentes com o objetivo do problema, foram estabelecidos pelo engenheiro da obra (tomador de decisão). Assim, os fatores considerados na construção de cada critério de avaliação, bem como seus respectivos pesos, limiares de preferência, indiferença, veto e nível de corte, refletiram o conhecimento e a experiência do decisor na área.

Obviamente, não é tarefa fácil reunir uma multiplicidade de variáveis num único modelo de decisão. A prova disso é que os sistemas de Gestão de Estoques se baseiam exclusivamente em aspectos econômico-financeiros, mais precisamente na Curva ABC.

Incorporar os múltiplos critérios no processo de Gestão de Estoques torna-se fundamental num momento em que as construtoras entram na concorrência global, com lucros cada vez menores, visto que os materiais representam 60 a 70% do valor global da obra. Posto isto, as políticas e objetivos estratégicos devem ser refletidos desde a definição de critérios de gerenciamento de materiais até as decisões de políticas de estoques.

Talvez a maior dificuldade na área de gerenciamento de estoques esteja em considerar aspectos que, *a priori*, não podem ser medidos monetariamente ou não sejam facilmente obtidos, mas que os decisores consideram implicitamente em suas tomadas de decisão de classificação de estoques para compras. E é justamente por negligenciar a relação entre “tomada de decisão” e “apoio à decisão” que aparece a principal dificuldade, qual seja, a de entender a decisão como um processo do qual fazem parte as características objetivas das “ações” e as perspectivas subjetivas dos “decisores”, em que os modelos multicritérios num processo de construção, baseado na estruturação, apoia a tomada de decisão.

Vale ressaltar que a aplicação realizada neste trabalho não deve nem pode ser generalizada. Cada aplicação apresentará um processo, uma avaliação, um resultado diferente a qual poderá ser realizada em outras áreas que não a construção civil, e que poderá ser utilizada com o número de classes necessário para cada caso.

Dessa forma, o modelo desenvolvido classificou os materiais em três classes da obra, visando a um papel estratégico no setor de suprimentos em construção civil, o que constitui uma tendência nos dias atuais, mas que ainda não é uma realidade completamente reconhecida no setor.

6.2 Sugestões para futuros trabalhos

O papel do setor de suprimentos na construção civil apresenta-se ainda repleto de falhas, merecendo por isso uma maior atenção dos estudiosos dessa temática. Abaixo estão agrupadas algumas sugestões para a elaboração de futuros trabalhos, utilizando-se o modelo de classificação de estoques:

- Em relação à quantidade de agentes decisores, o problema pode ser analisado sob o enfoque da decisão em grupo, em que são colocados tanto os objetivos dos diretores da empresa quanto aqueles do gestor da obra;
- Outros métodos multicritérios poderiam ser estudados para aplicação nesse caso;
- Um estudo probabilístico poderia ser feito em relação à obtenção do *lead time* do fornecedor, garantindo maior precisão;
- Um estudo operacional pode ser realizado a partir dessa classificação, utilizando-se a ligação entre o material e a rede PERT-CPM da obra, condições de restrição impostas por capacidade de armazenagem na obra, para decisões do quanto comprar e quando comprar.

- O modelo pode ser aplicado a outro tipo de empresa que não o setor de construção, abordando outros critérios de classificação;
- Dentro do setor de construção, o modelo pode ser aplicado a outros tipos de obras, tais como barragens, pontes, obras públicas.
- O modelo de inferência dos parâmetros pode ser aprofundado quanto ao aspecto do número de alternativas necessárias para aplicação do modelo, bem como outro método poderia ser aplicado para obtenção dos parâmetros do ELECTRE TRI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAPIOU, A. The changing role of builders merchants in the construction supply chain. *Construction Management and Economics*, v.16, p.351–361, 1998.
- AGRELL, P.J. A multicriteria approach to concurrent engineering. *International Journal of Production Economics*, v.34, p.99-113, 1994.
- ALENCAR, L.H. Avaliação e Gestão de projeto na construção civil com apoio do método multicritério PROMETHEE. 2003. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFPE, Recife, 2003.
- ALENCAR, L.H.; MIRANDA, C.M.G.; ALMEIDA, A.T. Seleção de atividades críticas na gestão de projeto na construção civil. In:ALMEIDA, A.T; COSTA, A.P.C.S. *Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão*. Recife: Universitária, 2003. p.55-72.
- ALMEIDA, A.T; COSTA, A.P.C.S. *Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão*. Recife: Universitária, 2003.
- ARONDEL, C.;GIARDIN, P. Sorting cropping system on the basis of their impact on groundwater quality. *European Journal of Operation Research*, v.127, p.467-482, 2000.
- BANA e COSTA, C. Introdução geral a abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. *Investigação Operacional*, v.8, n.1, p.117-139, 1988.
- BARBAROSOGLU, G.; YAZGAÇ, T. An application of the analitical hierarchy process to the supplier selection problem. *Production and Inventory Management Journal*, v.1, p. 14-21, 1997.
- BARZILAI, J.; GOLANY, B. AHP rank reversal normalization and aggregation rules. *INFOR.*, Ottawa, v. 32, n. 2, May, 1994.
- BELL, L.C.;STUKHART, G. Costs and Benefits of materials management system. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, v.13, p.222-234, 1987.
- BENTON, W.C. Quantity discount decisions under conditions of multiple items, multiple suppliers and resource limitations. *International Journal of Production Research*, v. 29, n.10, p. 1953–1961, 1991.
- BRANS, J.P.;VINCKE, P.H. A preference ranking organization method: the PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, v.31, p. 647-656, 1985.
- BRANS, J.P.; VINCKE, P.H.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank Project: the PROMETHEE method. *European Journal of Operation Research*, v.24, p.228-238. 1986.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints. *INFOR*, v.30, n.2, p.85-86, 1992.
- CAMPELLO DE SOUZA, F.M. *Decisões Racionais em Situações de Incerteza*. Recife: Universitária, 2002. 568p.

- CAVALCANTE, C.A.V.; ALMEIDA, A.T. Abordagem Multicritério aplicada no setor de gás e petróleo. In: ALMEIDA, A.T; COSTA, A.P.C.S. *Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão*. Recife: Universitária, 2003. p.85-100.
- CHAPMAN, C.; WARD, S. *Managing Project Risk and Uncertainty: a constructively simple approach to decision making*. Bruxelles: John Wiley & Sons, 2002.
- CII – *Construction Industry Institute*. Attributes of Materials Management Systems. Texas A&M University and Auburn University. Abril, 1985.
- CII – *Construction Industry Institute*. Cost and Benefits of Materials Management Systems. Publication 7-1, Nov, 1986.
- CII – *Construction Industry Institute*. Project Materials Management Primer. Bureau of Engineering Research Publication 7-2. The University of Texas at Austin. Nov, 1988.
- CLIMACO, J. N.; ANTUNES, C. H.; ALVES, M. J. G. (2003) Programação Linear Multiobjetivo. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- COHEN, M.; ERNST, F. Multi-item classification and generic inventory stock control policies. *Production and Inventory Management Journal*, v. 29, n.3, p. 6-8, 1988.
- CONLIN J. The application of project management software and advanced IT techniques in construction delays investigation. *International Journal of Project Management*, v.15, n. 2, p. 107-20, 1997.
- COSTA, A.P.C.S.; ALMEIDA, A.T. Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. *Gestão e Produção*, v.9, n.2, p.201-214, ago 2002.
- COSTA, A.P.C.S.; ALMEIDA, A.T. Seleção multicritério de sistemas de informação. In: ALMEIDA, A.T; COSTA, A.P.C.S. *Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão*. Recife: Universitária, 2003. p.41-53
- CHU, C.H.; CHU, Y.C. Computerized ABC Analysis: the basis for inventory management. *Computers & Industrial Engineering*, v.13, n.4, p.66-70, 1987.
- DAVIS, M.M.; AQUILIANO, N.J.; CHASE, R.B. *Fundamentos da Administração da Produção*. 3.ed., Porto Alegre: Bookman , 2001.598p.
- DANAKA, T.; TANAKA, T. On ABC Analysis of multi-item inventory problem. *Mathematical Modelling*, v. 8, p. 725-728, 1987.
- DENNIS, D.R.; MEREDITH, J.R. An analysis of process industry production and inventory management systems. *Journal of Operations Management*, v.18, p.683-699, 2000.
- DIAS, L.; MOUSSEAU, V.; FIGUEIRA, J.; CLÍMACO, J. An agregation/disagregation approach to obtain robust conclusions with ELECTRE TRI. *European Journal of Operational Research*, v.138, p.332-348, 2002.
- ERNST, R.; COHEN, M.A. Operations related groups (ORGs): a clustering procedure for production/inventory systems. *Journal of Operations Management*, v.9, n.4, p.574-598, 1990.

- FLORES, B.E.; WHYBARK, D.C. Multiple criteria ABC analysis. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 6, n.3, p.38-46, 1986.
- FLORES, B.E.; WHYBARK, D.C. Implementing multiple criteria ABC analysis. *Journal of Operations Management*, v.7, n. 1 , p.79-86, 1987.
- FLORES, B.E.; OLSON, D.L; DORAI, V.K. Management of multicriteria inventory classification. *Mathematical and Computer Modelling*, v.16, n.12, p.71-82, 1992.
- FRANCISCHINI, P. G.; GURGEL, F. A . *Administração de Materiais e do Patrimônio*. São Paulo: Pioneira Thomson, 2002.
- GAJPAL, P.P; GANESH, L.S.; RAJENDRAN, C. Criticality análise of spare parts using the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Production Economics*, v.35 n.1, p. 293-297, 1994.
- GARNETT, N. Benchmarking for construction: theory and practice. *Construction Management and Economics*, v.18, p.55-63, 2000.
- GEORGOPOULOU, E.; SARAFIDIS, Y.; MIRASGEDIS, S.; ZAIMI, S.; LALAS, P. A Multiple Criteria decision-aid approach in defining national priorities for greenhouse gases emissions reduction in the energy sector. *European Journal of Operational Research*, v.146, n.1, p.199-215, abr. 2003.
- GHODSYPOUR, S.H.; O'BRIEN, C. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, v.56, n.1, p. 199-212, 1998.
- GOMES, L.F.A.M; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. *Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério*. São Paulo: Atlas, 2002. 264p.
- GOMES, L.F.A.M.; ARAYA, M.C.G.; CARIGNANO, C. *Tomada de Decisões em Cenários Complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão*. São Paulo: Pioneira, 2004. 168p.
- GOMES, C.F.S.; GOMES, L.F.A.M. A Função de Decisão Multicritério: parte I: dos conceitos básicos à modelagem multicritério. *Revista do Mestrado em Administração e desenvolvimento empresarial*, v.3, n. 2, 2003.
- GOMES, A.R.; COSTA, H.G. Centralidade e vantagem locacional e análise multicritério. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXII. 2002, Curitiba. Anais...Curitiba, out, 2002.
- GUVENIR, H.A.; EREL, E. Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm. *European Journal of Operational Research*, v.105, n.1, p.29-37, 1998.
- HAYES, R.H. Developing POM faculties for the 21st century. *Production and Operations Management*, v. 7, n. 2, p. 94-98, 1998.
- HEY, J.D. *Uncertainty in micro-economics*. Oxford: Martin Robertson, 1979.

HOMAID, N.T.I. A compartative evaluation of construction and manufacturing materials management. *International Journal of Project Management*, v.20, p.263-270, 2002.

KEENEY, R.; RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives: preferences and value trade-offs*. Bruxelles: John Wiley & Sons, 1976.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 20 jun 2004.

LEITE, M.O.; POSSAMAI, O. A utilização das curvas de aprendizagem no planejamento da construção civil, Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXI. 2001, Santa Catarina. Anais...Santa Catarina, out, 2002.

LENARD, J.D.; ROY, B. Multi-item inventory control: a multicriteria view. *European Journal of Operation Research*, v.87, p.685-692 , abr. 1995.

LIM X. Construction productivity issues encountered by contractors in Singapore. *International Journal of Project Management*, v. 13, n.1, p.51–8, 1995.

LIMA, R.S. *Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes*. 200f. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil).Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LIMMER, C.V. *Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1997.

LOURENÇO, R.P.; COSTA, J.P. Using ELECTRE TRI outranking methos to sort MOMILP nondominated solutions. *European Journal of Operational Research*, v.153, p.271-289, 2004.

LOVEJOY, W.S. Integrated operations: a proposal for operations management teaching and research. *Production and Operations Management*. v.7, n. 2, p.106–124, 1998.

MACHUCA, J.A.D. Improving POM learning: systems thinking and transparent-box business simulators. *Production and Operations Management*, v. 7, n.2, p. 210–227, 1998.

MALAKOOTI, B. A gradient-based approach for solving hierarchical multi-criteria production planning problems. *Computers & Industrial Engineering*, v.16, n.3, p.407-417, 1989.

MARTINS, P.G.; ALT, P.R.C. *Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais*.2.ed. São Paulo: Saraiva, 2000.

MARSH, J.W. Materials management: practical application in the construction industry. *Cost Engineering*, v.27, p. 18-28, 1985

MERAD, M.M.;VERDEL, T.; ROY, B.; KOUNIALI, S. Use of multi-criteria decision-aids for risk zoning and management of large area subjected to mining-induced hazards. *Tunneling and Underground Space Technology*, v.19, n.2, p.125-138, mar. 2004.

MIRANDA, C.M.G.; ALMEIDA, A.T. Avaliação de pós-graduação com método ELECTRE TRI : o caso de Engenharias III da CAPES. *Revista Produção*, v. 13, n.3, p.101-112, 2003.

- MOHAMED, S. Options for applying BPR in the Australian construction industry. *International Journal of Project Management*, v.14, n. 6, p 379–85, 1996.
- MORAIS, D.C.; ALMEIDA, A.T. Métodos multicritério de apoio a decisão no planejamento de sistemas de abastecimento de água. In: ALMEIDA, A.T; COSTA, A.P.C.S. *Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão*. Recife: Universitária, 2003. 21-40p.
- MOREIRA, D.A. *Administração da Produção e Operações*. 3.ed. São Paulo: Pioneira, 1998.
- MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R. Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples. *Journal of Global Optimization*, v.12, p. 157-174, 1998.
- MOUSSEAU, V.; FIGUEIRA, J.; NAUX, J. Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: some experimental results. *European Journal of Operational Research*, v.130, p.263-275, 2001.
- MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. A user-oriented implementation of the ELECTRE TRI method integrating preference elicitation support. *Computers & Operations Research*, v. 27, n.7, p 757-777, 2000.
- MOUSSEAU, V.; DIAS, L. Valued outranking relations in ELECTRE providing manageable disaggregation procedures. *European Journal of Operational Research*, v.156, p.467-482, 2004.
- NARASIMHAN, R. An analytical approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Materials Management*, v.19, p. 27-32, 1983
- NYDICK, R.L.; HILL, R.P. Using the analytic hierarchy process to structure the supplier procedure. *International Journal of Purchasing and Materials Management* p. 31-36, 1992.
- OLIVEIRA, R.C.; LOURENÇO, J.C.A. A multicriteria model for assigning new orders to service suppliers. *European Journal of Operational Research*, v.139, p.390-399, 2002.
- OLSON, D.L. *Decision Aids for Election Problems*. Springer, 1996.
- PADMANABHAN,G.; VRAT, P. Analysis of multi item inventory systems under resource constraints: A non-linear goal programming approach. *Engineering Costs and Production Economics*, v. 20, n. 2, p.121-127, out. 1990.
- PARETO, V. *Manuel d'economie politique* .2.ed. Paris: M. Giard, 1927.
- PARETO, V. *Manual de economia política*. Buenos Aires: Atalaya, 1946.
- PARTOVI, F.Y.;BURTON, J. Using the Analytic Hierarchy Process for ABC analysis. *International Journal of Production and Operations Management*, v. 13, n. 9, p. 29-44, 1993.
- PARTOVI, F.Y; HOPTON, W.F. The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems. *Production and Inventory management Journal*, v.35, n. 1, p.13-19, 1994.
- PARTOVI, F.Y.; ANANDARAJAN, M. Classifying inventory using an artificial neural network approach. *Computers & Industrial Engineering*, v.42, p.389-404, Aug. 2002.

- PETROVIC, R.; PETROVIC, D. Multicriteria ranking of inventory replenishment policies in the presence of uncertainty in customer demand. *International Production Economics*, v.71, p.439-446, 2001.
- PICCHI, F.A. *Sistemas da qualidade: uso em empresas de construção de edifícios*. 200f. 1993. Tese (Doutorado em construção civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- RAMANI, S.; KRISHNAN KUTTY, K.V. Management of multi-item, multi-group inventories with multiple criteria under service level constraints. *Engineering Costs and Production Economics*, v. 9, p.59-64, 1985.
- ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- SANCHES, O.M. Estratégias para a implantação e gerência de sistemas de informação de apoio à tomada de decisões. *Revista da Administração Pública*, v.31, n.4, p.68-100, 1997.
- SEBRAE. Disponível em: <http://www.sebraesp.com.br/novo/pesquisa/download/Informacoes_basicas.doc>. Acesso em: 25 mar. 2004.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.. *Administração da Produção*. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SOIBELMAN, L. *As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e seu controle*. 180f. 1993. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1993
- SOUZA, R, et al. *Sistema de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras*. São Paulo: PINI, 1995.
- TALEB, M.F.A.; MARESCHAL, B. Water resources planning in the middle east: application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operation Research*, v.81, p.500-511, 1995.
- TRIGUEIRO, F.G.R. *Administração de Materiais: “um enfoque prático”*. Recife: Bagaço, 1996. 194p.
- TUNG, S.L.; TANG, S.L. A comparison of the Saaty's AHP and modified AHP for right and left eigenvector inconsistency. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 106, n.1, p.123, Apr. 1998.
- VARGAS, L.G. An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications. *European Journal of Operational Research*, v. 48, p. 2-8, 1990.
- VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. Bruxelles: John Wiley & Sons, 1992.
- WARD, J.H.; JENNINGS, E. *Introduction to linear models*. Prentice-Hall: Englewood Cliffs. 1973.
- WEBER, C.A.; CURRENT, J.R. A multiobjective approach to vendor selection. *European Journal of Operational Research*, v.68, p.173-184, 1993.

WEBER, C.A.; CURRENT,V.R.; BENTON,W.C. Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, v.50, p. 2–18, 1991.

YANG, J.B.; CHEN, C.; ZHANG,Z.J. The interactive decomposition method for multiobjective linear programming and its applications. *Information and Decision Technologies*, v.14, n.3, p. 275-288, 1988.

YEO, K.T.; NING, J.H. Integrating supply chain and critical chain concepts in engineer-procure-construct (EPC) projects. *International Journal of Project Management*, v.20, p.253-262, 2002.

YOSHIMURA, M.; ITANI, K.; HITURI, K. Integrated optimization of machine product design and process design. *International Journal of Production Research*, v.27, p.1241-1256, 1989

ZOMERDIJK, L.G.; VRIES, J. An organizational perspective on inventory control: theory and a case study. *International Journal of Production Economics*, v.81, p.173-183, 2003.

APÊNDICE 1

Tabela A.1 – Lista dos materiais

Aço CA-50	Janela de Madeira
Aço CA-50 Armafer	Joelho 45° 100mm
Aço CA-60 (Armafer)	Joelho 45° 40mm
Aço CA-60 Tela	Joelho 45° 50mm
Aço CA-60 Tela da Laje	Joelho 45° 75mm
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro Ø 32x1"	Joelho 45° soldável Ø 32mm
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro Ø 40x1.1/4"	Joelho 90° 100mm
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro Ø 85x3"	Joelho 90° 40mm
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro Ø 25x3/4"	Joelho 90° 50mm
Adesivo Plástico	Joelho 90° 75mm
Aguarrás mineral	Joelho 90° c/ visita 100x50mm
Anel de Vedação 100mm	Joelho 90° com bolsa para anel 40x38mm
Anel de Vedação 50mm	Joelho 90° com redução soldável Ø 32x25mm
Anel de Vedação 75mm	Joelho 90° com redução soldável Ø 40x32mm
Arame Galvanizado nº12	Joelho 90° soldável e com rosca Ø 25x3/4"
Arame recozido nº 18	Joelho 90° soldável Ø 25mm
Areia Média	Joelho 90° soldável Ø 32mm
Argamassa Colante	Joelho 90° soldável Ø 40mm
Argamassa multiuso	Joelho 90° soldável Ø 60mm
Aterramento completo Coperwald c/ 3 hastes	Junção invertida 75
Automatico de Bóia	Junção simples 100mm
Azulejo Branco 15x15cm	Junção simples 100x50mm
Barro de Aterro	Junção simples 50mm
Bloco "J"	Junção simples 75mm
Bloco "U" 19cm	Junção simples 75x50mm
Bloco "U" 7cm	Laje treliçada
Bloco Cerâmico Estrutural	Liquido preparador
Bloco Cerâmico Estrutural e=11cm	Liquido selador PVA
Bloco Cerâmico Estrutural e=14cm	Lixa de madeira nº 100
Bomba centrífuga	Madeira de Lei
Brita 19	MD I e II
Brita 25	Pasta Lubrificante
Brita 38	Placa de Gesso
Bucha de redução longa 50x40mm	Placa de Obra
Bucha de redução soldável curta Ø 40x32mm	Pontaleta de Louro Rosa de 3"x3"
Bucha de redução soldável curta Ø 60x50mm	Porta de Madeira Compensada 0,60x2,10m
Bucha de redução soldável curta Ø 75x60mm	Porta de Madeira compensada 0,80x2,10m
Bucha de redução soldável curta Ø 85x75mm	Porta de Madeira de Lei 0,80x2,10m
Bucha de redução soldável longa Ø 50x40mm	Poste de Concreto armado 100/8
Cabo de cobre(1 condutor), têmpera mole, encordoamento classe 2, isolamento de pvc - Flame resistant- 70 c, 0,60/1 KV, cobertura de PVC-ST 1 de 10,0 MM²	Prego 15x15

Cabo de cobre(1 condutor), têmpera mole, encordoamento classe 2, isolamento de pvc - Flame resistant- 70 c, 0,60/1 KV, cobertura de PVC-ST 1 de 16,0 MM²	Prego 2 1/2"x10
Cabo de cobre(1 condutor), têmpera mole, encordoamento classe 2, isolamento de pvc - Flame resistant- 70 c, 0,60/1 KV, cobertura de PVC-ST 1 de 25,0 MM²	Quadro Bomba
Cabo de cobre(1 condutor), têmpera mole, encordoamento classe 2, isolamento de pvc - Flame resistant- 70 c, 0,60/1 KV, cobertura de PVC-ST 1 de 6,0 MM²	Quadro Geral de Distribuição
Cabo de cobre, têmpera mole, classe 2, isolamento de pvc - 70 c, tipo bwf, 750 V de 4,0 MM²	Quadro Medidor
Caixa de distribuição p/ 5 Disjuntores	Registro de gaveta bruto Ø 1.1/4"
Caixa de Passagem 10x10	Registro de gaveta bruto Ø 1"
Caixa de Passagem 30x10	Registro de gaveta bruto Ø 3"
Caixa elétrica em PVC 4"x2"	Registro de gaveta com canopla Ø 3/4"
Caixa elétrica Octagonal em PVC	Registro de pressão soldável Ø 25mm
Caixa sifonada c/ grelha metálica 100x100x50mm	Sarrafo de Pinho de 1"x4"
Caixa sifonada c/ grelha metálica 150x185x75mm	Sifão copo plástico para lavatório DN 40
Cal Hidratada	Sifão copo plástico para pia DN 50
Cap para inspeção 50mm	Sifão copo plástico para tanque DN 50
Cap para inspeção 75mm	Sika ou Vedacit
Centro MM	Solução Limpadora
Chapa compensada de 10mm	Tabua de Louro Rosa de 1"x12"
Chapa compensada de 12mm	Tabua de Louro Rosa de 1"x6"
Chuveiro com haste de plástico de 3/4", Fortilit ou similar.	Tabua de Louro Rosa de 1"x9"
Cimento Branco	Tampa para Reservatório
Cimento Portland	Tanque de lavar roupa em resina de poliéster, modelo de 35 litros branco, fabricação Cipla.
Conjunto Interruptor + Tomada	Te 90° soldável e com rosca de Ø 25x1/2 para receber engate plastico
Cumeeira de fibrocimento	Te 90° 100x50mm
Curva 180° em PVC para eletroduto 2"	Te 90° 75mm
Curva 90° em PVC para eletroduto 1 1/4"	Te 90° 75x50mm
Curva 90° em PVC para eletroduto 2"	Te 90° soldável Ø 25mm
Curva 90° em PVC para eletroduto 3/4"	Te 90° soldável Ø 32mm
Curva longa 90° 100mm	Te 90° soldável Ø 40mm
Curva longa 90° 50mm	Te de 90° soldável Ø 75mm
Curva pé de coluna 90° 100mm	Te de inspeção 100x75mm
Disjuntor 16A	Te de inspeção 75x75mm
Disjuntor 25A	Te de redução 90° soldável Ø 32x25mm
Disjuntor 30A	Te de redução 90° soldável Ø 40x32mm
Disjuntor 60A	Te de redução 90° soldável Ø 50x32mm
Disjuntor 70A	Te de redução 90° soldável Ø 60x40mm
Dobradiça	Telha canal
Eletroduto Flexível Corugado 1"	Telha Ondulada de Fibrocimento de 4mm
Eletroduto Flexível Corugado 3/4"	Tijolo Cerâmico de 8 furos
Eletroduto Rígido em PVC 1 1/4"	Tijolo Comum 5x10x20cm
Eletroduto Rígido em PVC 2"	Tinta esmalte
Eletroduto Rígido em PVC 3/4"	Tinta PVA
Engate Plastico 50cm 1/2"	Tomada para Antena de TV

Estronca de Madeira	Tomada Simples
Extintor Pó Químico 4kg	Tomada simples com terra
Fechadura Completa	Torneira de plástico Akros 3/4 para tanque.
Ferragens para Tapume	Torneira de plástico Akros 3/4 para lavatório.
Fio de cobre, têmpera mole, classe 1, isolamento de pvc - 70 c, tipo bwf, 750 V de 2,5 MM²	Torneira de plástico Akros 3/4 para pia.
Fita Isolante anti-chama com celofane 19mmx20m	Tubo de PVC rígido soldável Ø 25mm
Fornecimento de Pia de cozinha com cuba simples de aço inoxidável, Mekal ou similar. (19.07.100)	Tubo de PVC rígido soldável Ø 32mm
Fornecimento e assentamento de bacia sanitária de louça com caixa acoplada, branca, Celite linha Saveiro ou similar. (19.07.020)	Tubo de PVC rígido soldável Ø 40mm
Fornecimento e assentamento de lavatório simples, grande, sem coluna, Celite linha saveiro ou similar. (19.07.030)	Tubo de PVC rígido soldável Ø 50mm
Fundo branco fosco	Tubo de PVC rígido soldável Ø 60mm
Grade de Madeira de Lei	Tubo de PVC rígido soldável Ø 75mm
Grade de Proteção de Ferro	Tubo PVC normal 100mm
Hidrômetro geral	Tubo PVC normal 40mm
Hidrômetro individual	Tubo PVC normal 50mm
Interruptor simples 1 Seção	Tubo PVC normal 75mm
Interruptor simples 2 Seção	Válvula de Pé Ø 40mm
Interruptor simples 3 Seção	Válvula de retenção horizontal Ø 1"
Interruptor Tree Way 1 Seção	Vedação para saída de vaso sanitário 100mm
Interruptor Tree Way 3 Seção	Verniz Acrílico
Isopor	Viga de Peroba de 6x12cm

APÊNDICE 2

Tabela A.2 – Tabela de Avaliação 1

ALTERNATIVAS	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Aço CA-50	4201,14	8	6
Aço CA-50 Armafer	22503,60	8	1
Aço CA-60 (Armafer)	132723,13	8	13
Aço CA-60 Tela	57128,94	8	1
Aço CA-60 Tela da Laje	23315,10	8	4
AGUA FRIA	11765,88	3	1
Aguarras mineral	660,35	2	4
Arame Galvanizado nº12	223,24	2	1
Arame recozido nº 18	6117,65	2	25
Areia Média	8547,78	1	40
Argamassa Colante	12,45	2	1
Argamassa multiuso	21830,37	3	4
Azulejo Branco 15x15cm	187,39	1	1
Barro de Aterro	10,56	2	1
Bloco "J"	4425,73	5	1
Bloco "U" 19cm	11503,17	5	1
Bloco "U" 7cm	3783,55	5	1
Bloco Cerâmico Estrutural	95872,04	5	1
Bloco Cerâmico Estrutural e=11cm	4964,54	5	1
Bloco Cerâmico Estrutural e=14cm	9735,21	5	1
Bomba centrífuga	2010,00	2	1
Brita 19	4100,00	2	16
Brita 25	5136,89	2	17
Brita 38	283,73	2	2
CABOS	25868,40	30	1
Cal Hidratada	1167,75	3	5
Centro MM	7200,00	30	3
Chapa compensada de 10mm	5775,00	3	1
Chapa compensada de 12mm	11018,01	3	14
Chuveiro com haste de plástico de 3/4", Fortilit ou similar.	370,56	3	1
Cimento Branco	6,01	2	1
Cimento Portland	53160,46	2	39
Cumeeira de fibrocimento	411,38	1	1
Dobradiça	2252,34	8	3
ESGOTO	26485,44	3	1
Estronca de Madeira	23572,04	7	3
Extintor Pó Químico 4kg	1680,00	1	1
Fechadura Completa	20046,60	30	3
Ferragens para Tapume	1155,00	2	1
Fundo branco fosco	3395,93	15	3
Grade de Madeira de Lei	21672,00	8	4
Grade de Proteção de Ferro	270,00	8	1
Hidrômetro geral	480,00	3	1

Hidrômetro individual	12480,00	3	1
Isopor	40564,80	3	1
Janela de Madeira	65212,13	40	5
Laje treliçada	114379,09	15	3
Liquido preparador	392,83	2	1
Liquido selador PVA	362,19	2	1
Lixa de madeira nº 100	592,66	2	5
LOUÇA 1	1196,16	8	1
LOUÇA 2	33690,24	8	1
Madeira de Lei	8525,52	15	1
MAT ELETRICO 1	7407,36	3	1
MAT ELETRICO 2	19185,39	15	1
MAT ELETRICO 3	11891,40	30	1
MD	1620,00	8	2
Placa de Gesso	6775,95	3	1
Placa de Obra	1200,00	8	1
Pontaleta de Louro Rosa de 3"x3"	13805,58	7	14
Porta de Madeira Compensada 0,60x2,10m	3456,00	15	1
Porta de Madeira compensada 0,80x2,10m	10560,00	15	1
Porta de Madeira de Lei 0,80x2,10m	7711,20	15	2
Poste de Concreto armado 100/8	810,00	3	1
Prego 15x15	87,00	2	1
Prego 2 1/2"x10	3991,30	2	22
Quadro Bomba	390,00	3	1
Sarrafo de Pinho de 1"x4"	12026,74	7	16
Sika ou Vedacit	1093,00	2	3
Tabua de Louro Rosa de 1"x12"	32530,06	7	18
Tabua de Louro Rosa de 1"x6"	4640,58	7	1
Tabua de Louro Rosa de 1"x9"	2633,04	7	1
Tampa para Reservatório	1170,00	1	1
Telha canal	14190,34	2	2
Telha Ondulada de Fibrocimento de 4mm	928,20	3	1
Tijolo Cerâmico de 8 furos	16378,43	3	2
Tijolo Comum 5x10x20cm	3685,82	2	3
Tinta esmalte	5163,36	2	4
Tinta PVA	649,07	2	1
Verniz Acrílico	13965,01	15	1
Viga de Peroba de 6x12cm	864,00	3	1

Tabela A.3 – Tabela de Agregação dos Materiais Elétricos 1

DESCRIÇÃO	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Eletroduto Flexível Corugado 1"	2160,00	3	1
Eletroduto Flexível Corugado 3/4"	2114,16	3	1
Eletroduto Rígido em PVC 1 1/4"	2482,20	3	1
Eletroduto Rígido em PVC 2"	360,00	3	1
Eletroduto Rígido em PVC 3/4"	270,00	3	1
Fita Isolante anti-chama com celofane 19mmx20m	21,00	3	1
MAT ELÉTRICO 1	7407,36	3	1

Tabela A.4 – Tabela de Agregação dos Materiais Elétricos 2

DESCRIÇÃO	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Caixa de distribuição p/ 5 Disjuntores	1489,20	15	1
Caixa de Passagem 10x10	1314,00	15	1
Caixa de Passagem 30x10	1427,40	15	1
Aterramento completo Coperwald c/ 3 hastes	57,55	15	1
Automatico de Bóia	58,86	15	1
Caixa elétrica em PVC 4"x2"	1242,00	15	1
Caixa elétrica Octagonal em PVC	2184,00	15	1
Conjunto Interruptor + Tomada	1728,00	15	1
Curva 180° em PVC para eletroduto 2"	21,00	15	1
Curva 90° em PVC para eletroduto 1 1/4"	63,34	15	1
Curva 90° em PVC para eletroduto 2"	30,00	15	1
Curva 90° em PVC para eletroduto 3/4"	111,71	15	1
Quadro Geral de Distribuição	278,16	15	1
Quadro Medidor	9180,17	15	1
MAT ELÉTRICO 2	19185,39	15	1

Tabela A.5 – Tabela de Agregação dos Materiais Elétricos 3

DESCRIÇÃO	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Disjuntor 16A	3618,00	30	1
Disjuntor 25A	817,69	30	1
Disjuntor 30A	792,14	30	1
Disjuntor 60A	125,58	30	1
Disjuntor 70A	62,79	30	1
Interruptor simples 1 Seção	921,60	30	1
Interruptor simples 2 Seção	1008,00	30	1
Interruptor simples 3 Seção	604,80	30	1
Interruptor Tree Way 1 Seção	74,40	30	1
Interruptor Tree Way 3 Seção	199,20	30	1
Tomada para Antena de TV	230,40	30	1
Tomada Simples	2764,80	30	1
Tomada simples com terra	672,00	30	1
MAT ELÉTRICO 3	11891,40	30	1

Tabela A.6 – Tabela de Agregação das Louças Sanitárias 1

DESCRIÇÃO	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Torneira de plástico Akros 3/4 para tanque.	215,04	8	1
Torneira de plástico Akros 3/4 para lavatório.	539,52	8	1
Torneira de plástico Akros 3/4 para pia.	441,60	8	1
LOUÇA 1	1196,16	8	1

Tabela A.7 – Tabela de Agregação das Louças Sanitárias 2

DESCRIÇÃO	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Fornecimento de Pia de cozinha com cuba simples de aço inoxidável, Mekal ou similar. (19.07.100)	14375,04	8	1
Fornecimento e assentamento de bacia sanitária de louça com caixa acoplada, branca, Celite linha Saveiro ou similar. (19.07.020)	9421,44	8	1
Fornecimento e assentamento de lavatório simples, grande, sem coluna, Celite linha saveiro ou similar. (19.07.030)	2540,16	8	1
Tanque de lavar roupa em resina de poliéster, modelo de 35 litros branco, fabricação Cipla.	7353,60	8	1
LOUÇA 2	33690,24	8	1

Tabela A.8 – Tabela de Agregação dos cabos

DESCRIÇÃO	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Cabo de cobre(1 condutor), têmpera mole, encordoamento classe 2, isolamento de pvc - Flame resistant- 70 c, 0,60/1 KV, cobertura de PVC-ST 1 de 10,0 MM²	171,60	30	1
Cabo de cobre(1 condutor), têmpera mole, encordoamento classe 2, isolamento de pvc - Flame resistant- 70 c, 0,60/1 KV, cobertura de PVC-ST 1 de 16,0 MM²	381,60	30	1
Cabo de cobre(1 condutor), têmpera mole, encordoamento classe 2, isolamento de pvc - Flame resistant- 70 c, 0,60/1 KV, cobertura de PVC-ST 1 de 25,0 MM²	1603,20	30	1
Cabo de cobre(1 condutor), têmpera mole, encordoamento classe 2, isolamento de pvc - Flame resistant- 70 c, 0,60/1 KV, cobertura de PVC-ST 1 de 6,0 MM²	11040,00	30	1
Cabo de cobre, têmpera mole, classe 2, isolamento de pvc - 70 c, tipo bwf, 750 V de 4,0 MM²	4608,00	30	1
Fio de cobre, têmpera mole, classe 1, isolamento de pvc - 70 c, tipo bwf, 750 V de 2,5 MM²	8064,00	30	1
CABOS	25868,40	30	1

Tabela A.9 – Tabela de Agregação dos Materiais de Esgoto

DESCRIÇÃO	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Anel de Vedação 100mm	682,61	3	1
Anel de Vedação 50mm	881,24	3	1
Anel de Vedação 75mm	272,07	3	1
Bucha de redução longa 50x40mm	76,80	3	1
Caixa sifonada c/ grelha metálica 100x100x50mm	729,60	3	1
Caixa sifonada c/ grelha metálica 150x185x75mm	47,61	3	1
Cap para inspeção 50mm	45,43	3	1
Cap para inspeção 75mm	76,88	3	1
Curva longa 90° 100mm	175,20	3	1
Curva longa 90° 50mm	371,52	3	1
Curva pé de coluna 90° 100mm	710,40	3	1
Joelho 45° 100mm	282,24	3	1
Joelho 45° 40mm	47,52	3	1
Joelho 45° 50mm	626,40	3	1
Joelho 45° 75mm	46,08	3	1
Joelho 90° 100mm	51,30	3	1
Joelho 90° 40mm	63,36	3	1
Joelho 90° 50mm	574,56	3	1
Joelho 90° 75mm	235,20	3	1
Joelho 90° c/ visita 100x50mm	921,60	3	1
Joelho 90° com bolsa para anel 40x38mm	201,60	3	1
Junção invertida 75	475,20	3	1
Junção simples 100mm	815,07	3	1
Junção simples 100x50mm	1186,35	3	1
Junção simples 50mm	50,89	3	1
Junção simples 75mm	547,20	3	1
Junção simples 75x50mm	473,05	3	1
Pasta Lubrificante	99,78	3	1
Sifão copo plástico para lavatório DN 40	496,20	3	1
Sifão copo plástico para pia DN 50	716,35	3	1
Sifão copo plástico para tanque DN 50	690,14	3	1
Te 90° 100x50mm	583,56	3	1
Te 90° 75mm	148,80	3	1
Te 90° 75x50mm	564,35	3	1
Te de inspeção 100x75mm	1539,72	3	1
Te de inspeção 75x75mm	2020,64	3	1
Tubo PVC normal 100mm	2575,20	3	1
Tubo PVC normal 40mm	266,40	3	1
Tubo PVC normal 50mm	2419,20	3	1
Tubo PVC normal 75mm	2894,40	3	1
Vedação para saída de vaso sanitário 100mm	803,71	3	1
ESGOTO	26485,44	3	1

Tabela A.10 – Tabela de Agregação dos Materiais de Água Fria

DESCRIÇÃO	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro Ø 32x1"	178,21	3	1
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro Ø 40x1.1/4"	10,80	3	1
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro Ø 85x3"	69,60	3	1
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro Ø 25x3/4"	1,97	3	1
Adesivo Plástico	72,62	3	1
Bucha de redução soldável curta Ø 40x32mm	12,01	3	1
Bucha de redução soldável curta Ø 60x50mm	32,98	3	1
Bucha de redução soldável curta Ø 75x60mm	69,60	3	1
Bucha de redução soldável curta Ø 85x75mm	52,20	3	1
Bucha de redução soldável longa Ø 50x40mm	18,56	3	1
Engate Plástico 50cm 1/2"	248,10	3	1
Joelho 45° soldável Ø 32mm	9,60	3	1
Joelho 90° com redução soldável Ø 32x25mm	104,83	3	1
Joelho 90° com redução soldável Ø 40x32mm	38,40	3	1
Joelho 90° soldável e com rosca Ø 25x3/4"	472,14	3	1
Joelho 90° soldável Ø 25mm	141,52	3	1
Joelho 90° soldável Ø 32mm	402,30	3	1
Joelho 90° soldável Ø 40mm	16,20	3	1
Joelho 90° soldável Ø 60mm	14,63	3	1
Registro de gaveta bruto Ø 1.1/4"	179,09	3	1
Registro de gaveta bruto Ø 1"	1852,25	3	1
Registro de gaveta bruto Ø 3"	384,93	3	1
Registro de gaveta com canopla Ø 3/4"	41,00	3	1
Registro de pressão soldável Ø 25mm	529,40	3	1
Solução Limpadora	49,96	3	1
Te 90° soldável e com rosca de Ø 25x1/2 para receber engate plástico	182,40	3	1
Te 90° soldável Ø 25mm	121,87	3	1
Te 90° soldável Ø 32mm	74,88	3	1
Te 90° soldável Ø 40mm	8,40	3	1
Te de 90° soldável Ø 75mm	28,50	3	1
Te de redução 90° soldável Ø 32x25mm	190,01	3	1
Te de redução 90° soldável Ø 40x32mm	103,96	3	1
Te de redução 90° soldável Ø 50x32mm	87,14	3	1
Te de redução 90° soldável Ø 60x40mm	68,14	3	1
Tubo de PVC rígido soldável Ø 25mm	1952,17	3	1
Tubo de PVC rígido soldável Ø 32mm	1737,60	3	1
Tubo de PVC rígido soldável Ø 40mm	799,68	3	1
Tubo de PVC rígido soldável Ø 50mm	246,36	3	1
Tubo de PVC rígido soldável Ø 60mm	730,80	3	1
Tubo de PVC rígido soldável Ø 75mm	214,61	3	1
Válvula de Pé Ø 40mm	97,80	3	1
Válvula de retenção horizontal Ø 1"	118,65	3	1
AGUA FRIA	11765,88	3	1

APÊNDICE 3

Tabela A.11 – Tabela de Avaliação 2

ALTERNATIVAS	CÓDIGO	CI (R\$)	LT (dias)	IF
Aço CA-50	A ₁	4201,14	8	6
Aço CA-50 Armafer	A ₂	22503,60	8	1
Aço CA-60 (Armafer)	A ₃	132723,13	8	13
Aço CA-60 Tela	A ₄	57128,94	8	1
Aço CA-60 Tela da Laje	A ₅	23315,10	8	4
AGUA FRIA	A ₆	11765,88	3	1
Aguarras mineral	A ₇	660,35	2	4
Arame Galvanizado nº12	A ₈	223,24	2	1
Arame recozido nº 18	A ₉	6117,65	2	25
Areia Média	A ₁₀	8547,78	1	40
Argamassa Colante	A ₁₁	12,45	2	1
Argamassa multiuso	A ₁₂	21830,37	3	4
Azulejo Branco 15x15cm	A ₁₃	187,39	1	1
Barro de Aterro	A ₁₄	10,56	2	1
Bloco "J"	A ₁₅	4425,73	5	1
Bloco "U" 19cm	A ₁₆	11503,17	5	1
Bloco "U" 7cm	A ₁₇	3783,55	5	1
Bloco Cerâmico Estrutural	A ₁₈	95872,04	5	1
Bloco Cerâmico Estrutural e=11cm	A ₁₉	4964,54	5	1
Bloco Cerâmico Estrutural e=14cm	A ₂₀	9735,21	5	1
Bomba centrífuga	A ₂₁	2010,00	2	1
Brita 19	A ₂₂	4100,00	2	16
Brita 25	A ₂₃	5136,89	2	17
Brita 38	A ₂₄	283,73	2	2
CABOS	A ₂₅	25868,40	30	1
Cal Hidratada	A ₂₆	1167,75	3	5
Centro MM	A ₂₇	7200,00	30	3
Chapa compensada de 10mm	A ₂₈	5775,00	3	1
Chapa compensada de 12mm	A ₂₉	11018,01	3	14
Chuveiro com haste de plástico de 3/4", Fortilit ou similar.	A ₃₀	370,56	3	1
Cimento Branco	A ₃₁	6,01	2	1
Cimento Portland	A ₃₂	53160,46	2	39
Cumeeira de fibrocimento	A ₃₃	411,38	1	1
Dobradiça	A ₃₄	2252,34	8	3
ESGOTO	A ₃₅	26485,44	3	1
Estronca de Madeira	A ₃₆	23572,04	7	3
Extintor Pó Químico 4kg	A ₃₇	1680,00	1	1
Fechadura Completa	A ₃₈	20046,60	30	3
Ferragens para Tapume	A ₃₉	1155,00	2	1
Fundo branco fosco	A ₄₀	3395,93	15	3
Grade de Madeira de Lei	A ₄₁	21672,00	8	4
Grade de Proteção de Ferro	A ₄₂	270,00	8	1
Hidrômetro geral	A ₄₃	480,00	3	1

Hidrômetro individual	A ₄₄	12480,00	3	1
Isopor	A ₄₅	40564,80	3	1
Janela de Madeira	A ₄₆	65212,13	40	5
Laje treliçada	A ₄₇	114379,09	15	3
Liquido preparador	A ₄₈	392,83	2	1
Liquido selador PVA	A ₄₉	362,19	2	1
Lixa de madeira nº 100	A ₅₀	592,66	2	5
LOUÇA 1	A ₅₁	1196,16	8	1
LOUÇA 2	A ₅₂	33690,24	8	1
Madeira de Lei	A ₅₃	8525,52	15	1
MAT ELETRICO 1	A ₅₄	7407,36	3	1
MAT ELETRICO 2	A ₅₅	19185,39	15	1
MAT ELETRICO 3	A ₅₆	11891,40	30	1
MD	A ₅₇	1620,00	8	2
Placa de Gesso	A ₅₈	6775,95	3	1
Placa de Obra	A ₅₉	1200,00	8	1
Pontaleta de Louro Rosa de 3"x3"	A ₆₀	13805,58	7	14
Porta de Madeira Compensada 0,60x2,10m	A ₆₁	3456,00	15	1
Porta de Madeira compensada 0,80x2,10m	A ₆₂	10560,00	15	1
Porta de Madeira de Lei 0,80x2,10m	A ₆₃	7711,20	15	2
Poste de Concreto armado 100/8	A ₆₄	810,00	3	1
Prego 15x15	A ₆₅	87,00	2	1
Prego 2 1/2"x10	A ₆₆	3991,30	2	22
Quadro Bomba	A ₆₇	390,00	3	1
Sarrafo de Pinho de 1"x4"	A ₆₈	12026,74	7	16
Sika ou Vedacit	A ₆₉	1093,00	2	3
Tabua de Louro Rosa de 1"x12"	A ₇₀	32530,06	7	18
Tabua de Louro Rosa de 1"x6"	A ₇₁	4640,58	7	1
Tabua de Louro Rosa de 1"x9"	A ₇₂	2633,04	7	1
Tampa para Reservatório	A ₇₃	1170,00	1	1
Telha canal	A ₇₄	14190,34	2	2
Telha Ondulada de Fibrocimento de 4mm	A ₇₅	928,20	3	1
Tijolo Cerâmico de 8 furos	A ₇₆	16378,43	3	2
Tijolo Comum 5x10x20cm	A ₇₇	3685,82	2	3
Tinta esmalte	A ₇₈	5163,36	2	4
Tinta PVA	A ₇₉	649,07	2	1
Verniz Acrílico	A ₈₀	13965,01	15	1
Viga de Peroba de 6x12cm	A ₈₁	864,00	3	1

APÊNDICE 4

Tabela A.12 – Matriz dos índices de concordância $c(a, b_h)$ e $c(b_h, a)$ do ELECTRE TRI – Critério custo de investimento

$c_j(a, b_h)$	b_1	b_2		$c_j(b_h, a)$	b_1	b_2
A ₁	1	0		A ₁	1	1
A ₂	1	1		A ₂	0	0
A ₃	1	1		A ₃	0	0
A ₄	1	1		A ₄	0	0
A ₅	1	1		A ₅	0	0
A ₆	1	0		A ₆	0	1
A ₇	0	0		A ₇	1	1
A ₈	0	0		A ₈	1	1
A ₉	1	0		A ₉	0	1
A ₁₀	1	0		A ₁₀	0	1
A ₁₁	0	0		A ₁₁	1	1
A ₁₂	1	1		A ₁₂	0	0
A ₁₃	0	0		A ₁₃	1	1
A ₁₄	0	0		A ₁₄	1	1
A ₁₅	1	0		A ₁₅	0,936	1
A ₁₆	1	0		A ₁₆	0	1
A ₁₇	1	0		A ₁₇	1	1
A ₁₈	1	1		A ₁₈	0	0
A ₁₉	1	0		A ₁₉	0	1
A ₂₀	1	0		A ₂₀	0	1
A ₂₁	0	0		A ₂₁	1	1
A ₂₂	1	0		A ₂₂	1	1
A ₂₃	1	0		A ₂₃	0	1
A ₂₄	0	0		A ₂₄	1	1
A ₂₅	1	1		A ₂₅	0	0
A ₂₆	0	0		A ₂₆	1	1
A ₂₇	1	0		A ₂₇	0	1
A ₂₈	1	0		A ₂₈	0	1
A ₂₉	1	0		A ₂₉	0	1
A ₃₀	0	0		A ₃₀	1	1
A ₃₁	0	0		A ₃₁	1	1
A ₃₂	1	1		A ₃₂	0	0
A ₃₃	0	0		A ₃₃	1	1
A ₃₄	0	0		A ₃₄	1	1
A ₃₅	1	1		A ₃₅	0	0
A ₃₆	1	1		A ₃₆	0	0
A ₃₇	0	0		A ₃₇	1	1
A ₃₈	1	1		A ₃₈	0	0
A ₃₉	0	0		A ₃₉	1	1
A ₄₀	0,490	0		A ₄₀	1	1
A ₄₁	1	1		A ₄₁	0	0

A ₄₂	0	0
A ₄₃	0	0
A ₄₄	1	0,32
A ₄₅	1	1
A ₄₆	1	1
A ₄₇	1	1
A ₄₈	0	0
A ₄₉	0	0
A ₅₀	0	0
A ₅₁	0	0
A ₅₂	1	1
A ₅₃	1	0
A ₅₄	1	0
A ₅₅	1	1
A ₅₆	1	0
A ₅₇	0	0
A ₅₈	1	0
A ₅₉	0	0
A ₆₀	1	1
A ₆₁	0,64	0
A ₆₂	1	0
A ₆₃	1	0
A ₆₄	0	0
A ₆₅	0	0
A ₆₆	1	0
A ₆₇	0	0
A ₆₈	1	0,018
A ₆₉	0	0
A ₇₀	1	1
A ₇₁	1	0
A ₇₂	0	0
A ₇₃	0	0
A ₇₄	1	1
A ₇₅	0	0
A ₇₆	1	1
A ₇₇	1	0
A ₇₈	1	0
A ₇₉	0	0
A ₈₀	1	1
A ₈₁	0	0

A ₄₂	1	1
A ₄₃	1	1
A ₄₄	0	1
A ₄₅	0	0
A ₄₆	0	0
A ₄₇	0	0
A ₄₈	1	1
A ₄₉	1	1
A ₅₀	1	1
A ₅₁	1	1
A ₅₂	0	0
A ₅₃	0	1
A ₅₄	0	1
A ₅₅	0	0
A ₅₆	0	1
A ₅₇	1	1
A ₅₈	0	1
A ₅₉	1	1
A ₆₀	0	1
A ₆₁	1	1
A ₆₂	0	1
A ₆₃	0	1
A ₆₄	1	1
A ₆₅	1	1
A ₆₆	1	1
A ₆₇	1	1
A ₆₈	0	1
A ₆₉	1	1
A ₇₀	0	0
A ₇₁	0,399	1
A ₇₂	1	1
A ₇₃	1	1
A ₇₄	0	1
A ₇₅	1	1
A ₇₆	0	1
A ₇₇	1	1
A ₇₈	0	1
A ₇₉	1	1
A ₈₀	0	1
A ₈₁	1	1

Tabela A.13 – Matriz dos índices de concordância $c(a, b_h)$ e $c(b_h, a)$ do ELECTRE TRI – Critério Lead Time

$c_j(a, b_h)$	b_1	b_2
A ₁	1	0
A ₂	1	0
A ₃	1	0
A ₄	1	0
A ₅	1	0
A ₆	1	0
A ₇	0	0
A ₈	0	0
A ₉	0	0
A ₁₀	0	0
A ₁₁	0	0
A ₁₂	1	0
A ₁₃	0	0
A ₁₄	0	0
A ₁₅	1	0
A ₁₆	1	0
A ₁₇	1	0
A ₁₈	1	0
A ₁₉	1	0
A ₂₀	1	0
A ₂₁	0	0
A ₂₂	0	0
A ₂₃	0	0
A ₂₄	0	0
A ₂₅	1	1
A ₂₆	1	0
A ₂₇	1	1
A ₂₈	1	0
A ₂₉	1	0
A ₃₀	1	0
A ₃₁	0	0
A ₃₂	0	0
A ₃₃	0	0
A ₃₄	1	0
A ₃₅	1	0
A ₃₆	1	0
A ₃₇	0	0
A ₃₈	1	1
A ₃₉	0	0
A ₄₀	1	1
A ₄₁	1	0
A ₄₂	1	0
A ₄₃	1	0
A ₄₄	1	0
A ₄₅	1	0
A ₄₆	1	1
A ₄₇	1	1

$c_j(b_h, a)$	b_1	b_2
A ₁	0	0
A ₂	0	0
A ₃	0	0
A ₄	0	0
A ₅	0	0
A ₆	0	1
A ₇	0	1
A ₈	0	1
A ₉	0	1
A ₁₀	1	1
A ₁₁	0	1
A ₁₂	0	1
A ₁₃	1	1
A ₁₄	0	1
A ₁₅	0	1
A ₁₆	0	1
A ₁₇	0	1
A ₁₈	0	1
A ₁₉	0	1
A ₂₀	0	1
A ₂₁	0	1
A ₂₂	0	1
A ₂₃	0	1
A ₂₄	0	1
A ₂₅	0	0
A ₂₆	0	1
A ₂₇	0	0
A ₂₈	0	1
A ₂₉	0	1
A ₃₀	0	1
A ₃₁	0	1
A ₃₂	0	1
A ₃₃	1	1
A ₃₄	0	0
A ₃₅	0	1
A ₃₆	0	1
A ₃₇	1	1
A ₃₈	0	0
A ₃₉	0	1
A ₄₀	0	0
A ₄₁	0	0
A ₄₂	0	0
A ₄₃	0	1
A ₄₄	0	1
A ₄₅	0	1
A ₄₆	0	0
A ₄₇	0	0

A ₄₈	0	0
A ₄₉	0	0
A ₅₀	0	0
A ₅₁	1	0
A ₅₂	1	0
A ₅₃	1	1
A ₅₄	1	0
A ₅₅	1	1
A ₅₆	1	1
A ₅₇	1	0
A ₅₈	1	0
A ₅₉	1	0
A ₆₀	1	0
A ₆₁	1	1
A ₆₂	1	1
A ₆₃	1	1
A ₆₄	1	0
A ₆₅	0	0
A ₆₆	0	0
A ₆₇	1	0
A ₆₈	1	0
A ₆₉	0	0
A ₇₀	1	0
A ₇₁	1	0
A ₇₂	1	0
A ₇₃	0	0
A ₇₄	0	0
A ₇₅	1	0
A ₇₆	1	0
A ₇₇	0	0
A ₇₈	0	0
A ₇₉	0	0
A ₈₀	1	1
A ₈₁	1	0

A ₄₈	0	1
A ₄₉	0	1
A ₅₀	0	1
A ₅₁	0	0
A ₅₂	0	0
A ₅₃	0	0
A ₅₄	0	1
A ₅₅	0	0
A ₅₆	0	0
A ₅₇	0	0
A ₅₈	0	1
A ₅₉	0	0
A ₆₀	0	1
A ₆₁	0	0
A ₆₂	0	0
A ₆₃	0	0
A ₆₄	0	1
A ₆₅	0	1
A ₆₆	0	1
A ₆₇	0	1
A ₆₈	0	1
A ₆₉	0	1
A ₇₀	0	1
A ₇₁	0	1
A ₇₂	0	1
A ₇₃	1	1
A ₇₄	0	1
A ₇₅	0	1
A ₇₆	0	1
A ₇₇	0	1
A ₇₈	0	1
A ₇₉	0	1
A ₈₀	0	0
A ₈₁	0	1

Tabela A.14 – Matriz dos índices de concordância $c(a, b_h)$ e $c(b_h, a)$ do ELECTRE TRI – Critério Impacto de Falta

$c_j(a, b_h)$	b_1	b_2
A ₁	1	0
A ₂	0	0
A ₃	1	1
A ₄	0	0
A ₅	1	0
A ₆	0	0
A ₇	1	0
A ₈	0	0
A ₉	1	1
A ₁₀	1	1
A ₁₁	0	0
A ₁₂	1	0
A ₁₃	0	0
A ₁₄	0	0
A ₁₅	0	0
A ₁₆	0	0
A ₁₇	0	0
A ₁₈	0	0
A ₁₉	0	0
A ₂₀	0	0
A ₂₁	0	0
A ₂₂	1	1
A ₂₃	1	1
A ₂₄	1	0
A ₂₅	0	0
A ₂₆	1	0
A ₂₇	1	0
A ₂₈	0	0
A ₂₉	1	1
A ₃₀	0	0
A ₃₁	0	0
A ₃₂	1	1
A ₃₃	0	0
A ₃₄	1	0
A ₃₅	0	0
A ₃₆	1	0
A ₃₇	0	0
A ₃₈	1	0
A ₃₉	0	0
A ₄₀	1	0
A ₄₁	1	0
A ₄₂	0	0
A ₄₃	0	0
A ₄₄	0	0
A ₄₅	0	0
A ₄₆	1	0
A ₄₇	1	0

$c_j(b_h, a)$	b_1	b_2
A ₁	0	0
A ₂	0	1
A ₃	0	0
A ₄	0	1
A ₅	0	1
A ₆	0	1
A ₇	0	1
A ₈	0	1
A ₉	0	0
A ₁₀	0	0
A ₁₁	0	1
A ₁₂	0	1
A ₁₃	0	1
A ₁₄	0	1
A ₁₅	0	1
A ₁₆	0	1
A ₁₇	0	1
A ₁₈	0	1
A ₁₉	0	1
A ₂₀	0	1
A ₂₁	0	1
A ₂₂	0	0
A ₂₃	0	0
A ₂₄	0	1
A ₂₅	0	1
A ₂₆	0	1
A ₂₇	0	1
A ₂₈	0	1
A ₂₉	0	0
A ₃₀	0	1
A ₃₁	0	1
A ₃₂	0	0
A ₃₃	0	1
A ₃₄	0	1
A ₃₅	0	1
A ₃₆	0	1
A ₃₇	0	1
A ₃₈	0	1
A ₃₉	0	1
A ₄₀	0	1
A ₄₁	0	1
A ₄₂	0	1
A ₄₃	0	1
A ₄₄	0	1
A ₄₅	0	1
A ₄₆	0	1
A ₄₇	0	1

A ₄₈	0	0
A ₄₉	0	0
A ₅₀	1	0
A ₅₁	0	0
A ₅₂	0	0
A ₅₃	0	0
A ₅₄	0	0
A ₅₅	0	0
A ₅₆	0	0
A ₅₇	1	0
A ₅₈	0	0
A ₅₉	0	0
A ₆₀	1	1
A ₆₁	0	0
A ₆₂	0	0
A ₆₃	1	0
A ₆₄	0	0
A ₆₅	0	0
A ₆₆	1	1
A ₆₇	0	0
A ₆₈	1	1
A ₆₉	1	0
A ₇₀	1	1
A ₇₁	0	0
A ₇₂	0	0
A ₇₃	0	0
A ₇₄	1	0
A ₇₅	0	0
A ₇₆	1	0
A ₇₇	1	0
A ₇₈	1	0
A ₇₉	0	0
A ₈₀	0	0
A ₈₁	0	0

A ₄₈	0	1
A ₄₉	0	1
A ₅₀	0	1
A ₅₁	0	1
A ₅₂	0	1
A ₅₃	0	1
A ₅₄	0	1
A ₅₅	0	1
A ₅₆	0	1
A ₅₇	0	1
A ₅₈	0	1
A ₅₉	0	1
A ₆₀	0	0
A ₆₁	0	1
A ₆₂	0	1
A ₆₃	0	1
A ₆₄	0	1
A ₆₅	0	1
A ₆₆	0	0
A ₆₇	0	1
A ₆₈	0	0
A ₆₉	0	1
A ₇₀	0	0
A ₇₁	0	1
A ₇₂	0	1
A ₇₃	0	1
A ₇₄	0	1
A ₇₅	0	1
A ₇₆	0	1
A ₇₇	0	1
A ₇₈	0	1
A ₇₉	0	1
A ₈₀	0	1
A ₈₁	0	1

Tabela A.15 – Matriz dos índices de concordância global $C(a, b_h)$ e $C(b_h, a)$ do ELECTRE TRI

$C(a, b_h)$	b_1	b_2
A ₁	1	0
A ₂	0,6	0,25
A ₃	1	0,65
A ₄	0,6	0,25
A ₅	1	0,25
A ₆	0,6	0
A ₇	0,4	0
A ₈	0	0
A ₉	0,65	0,4
A ₁₀	0,65	0,4
A ₁₁	0	0
A ₁₂	1	0,25
A ₁₃	0	0
A ₁₄	0	0
A ₁₅	0,6	0
A ₁₆	0,6	0
A ₁₇	0,6	0
A ₁₈	0,6	0,25
A ₁₉	0,6	0
A ₂₀	0,6	0
A ₂₁	0	0
A ₂₂	0,65	0,4
A ₂₃	0,65	0,4
A ₂₄	0,4	0
A ₂₅	0,6	0,6
A ₂₆	0,75	0
A ₂₇	1	0,35
A ₂₈	0,6	0
A ₂₉	1	0,4
A ₃₀	0,35	0
A ₃₁	0	0
A ₃₂	0,65	0,65
A ₃₃	0	0
A ₃₄	0,75	0
A ₃₅	0,6	0,25
A ₃₆	1	0,25
A ₃₇	0	0
A ₃₈	1	0,6
A ₃₉	0	0
A ₄₀	0,872	0,35
A ₄₁	1	0,25
A ₄₂	0,35	0
A ₄₃	0,35	0
A ₄₄	0,6	0,08
A ₄₅	0,6	0,25
A ₄₆	1	0,6
A ₄₇	1	0,6

$C(b_h, a)$	b_1	b_2
A ₁	0,25	0,25
A ₂	0	0,4
A ₃	0	0
A ₄	0	0,4
A ₅	0	0,4
A ₆	0	1
A ₇	0,25	1
A ₈	0,25	1
A ₉	0	0,6
A ₁₀	0,35	0,6
A ₁₁	0,25	1
A ₁₂	0	0,75
A ₁₃	0,6	1
A ₁₄	0,25	1
A ₁₅	0,234	1
A ₁₆	0	1
A ₁₇	0,25	1
A ₁₈	0	0,75
A ₁₉	0	1
A ₂₀	0	1
A ₂₁	0,25	1
A ₂₂	0,25	0,6
A ₂₃	0	0,6
A ₂₄	0,25	1
A ₂₅	0	0,4
A ₂₆	0,25	1
A ₂₇	0	0,65
A ₂₈	0	1
A ₂₉	0	0,6
A ₃₀	0,25	1
A ₃₁	0,25	1
A ₃₂	0	0,35
A ₃₃	0,6	1
A ₃₄	0,25	0,65
A ₃₅	0	0,75
A ₃₆	0	0,75
A ₃₇	0,6	1
A ₃₈	0	0,4
A ₃₉	0,25	1
A ₄₀	0,25	0,65
A ₄₁	0	0,4
A ₄₂	0,25	0,65
A ₄₃	0,25	1
A ₄₄	0	1
A ₄₅	0	0,75
A ₄₆	0	0,4
A ₄₇	0	0,4

A ₄₈	0	0
A ₄₉	0	0
A ₅₀	0,4	0
A ₅₁	0,35	0
A ₅₂	0,6	0,25
A ₅₃	0,6	0,35
A ₅₄	0,6	0
A ₅₅	0,6	0,6
A ₅₆	0,6	0,35
A ₅₇	0,75	0
A ₅₈	0,6	0
A ₅₉	0,35	0
A ₆₀	1	0,65
A ₆₁	0,51	0,35
A ₆₂	0,6	0,35
A ₆₃	1	0,35
A ₆₄	0,35	0
A ₆₅	0	0
A ₆₆	0,65	0,4
A ₆₇	0,35	0
A ₆₈	1	0,404
A ₆₉	0,4	0
A ₇₀	1	0,65
A ₇₁	0,6	0
A ₇₂	0,35	0
A ₇₃	0	0
A ₇₄	0,65	0,25
A ₇₅	0,35	0
A ₇₆	1	0,25
A ₇₇	0,65	0
A ₇₈	0,65	0
A ₇₉	0	0
A ₈₀	0,6	0,6
A ₈₁	0,35	0

A ₄₈	0,25	1
A ₄₉	0,25	1
A ₅₀	0,25	1
A ₅₁	0,25	0,65
A ₅₂	0	0,4
A ₅₃	0	0,65
A ₅₄	0	1
A ₅₅	0	0,4
A ₅₆	0	0,65
A ₅₇	0,25	0,65
A ₅₈	0	1
A ₅₉	0,25	0,65
A ₆₀	0	0,6
A ₆₁	0,25	0,65
A ₆₂	0	0,65
A ₆₃	0	0,65
A ₆₄	0,25	1
A ₆₅	0,25	1
A ₆₆	0,25	0,6
A ₆₇	0,25	1
A ₆₈	0	0,6
A ₆₉	0,25	1
A ₇₀	0	0,35
A ₇₁	0,099	1
A ₇₂	0,25	1
A ₇₃	0,6	1
A ₇₄	0	1
A ₇₅	0,25	1
A ₇₆	0	1
A ₇₇	0,25	1
A ₇₈	0	1
A ₇₉	0,25	1
A ₈₀	0	0,65
A ₈₁	0,25	1

Tabela A.16 – Matriz dos índices de discordância $d(a, b_h)$ e $d(b_h, a)$ do ELECTRE TRI – Critério Custo de Investimento

$d_j(a, b_h)$	b_1	b_2	$d_j(b_h, a)$	b_1	b_2
A ₁	0	1	A ₁	0	0
A ₂	0	0	A ₂	1	1
A ₃	0	0	A ₃	1	1
A ₄	0	0	A ₄	1	1
A ₅	0	0	A ₅	1	1
A ₆	0	0,156	A ₆	1	0
A ₇	1	1	A ₇	0	0
A ₈	1	1	A ₈	0	0
A ₉	0	1	A ₉	1	0
A ₁₀	0	1	A ₁₀	1	0
A ₁₁	1	1	A ₁₁	0	0
A ₁₂	0	0	A ₁₂	1	1
A ₁₃	1	1	A ₁₃	0	0
A ₁₄	1	1	A ₁₄	0	0
A ₁₅	0	1	A ₁₅	0	0
A ₁₆	0	0,331	A ₁₆	1	0
A ₁₇	0	1	A ₁₇	0	0
A ₁₈	0	0	A ₁₈	1	1
A ₁₉	0	1	A ₁₉	0,411	0
A ₂₀	0	1	A ₂₀	1	0
A ₂₁	1	1	A ₂₁	0	0
A ₂₂	0	1	A ₂₂	0	0
A ₂₃	0	1	A ₂₃	0,842	0
A ₂₄	1	1	A ₂₄	0	0
A ₂₅	0	0	A ₂₅	1	1
A ₂₆	1	1	A ₂₆	0	0
A ₂₇	0	1	A ₂₇	1	0
A ₂₈	0	1	A ₂₈	1	0
A ₂₉	0	0,655	A ₂₉	1	0
A ₃₀	1	1	A ₃₀	0	0
A ₃₁	1	1	A ₃₁	0	0
A ₃₂	0	0	A ₃₂	1	1
A ₃₃	1	1	A ₃₃	0	0
A ₃₄	1	1	A ₃₄	0	0
A ₃₅	0	0	A ₃₅	1	1
A ₃₆	0	0	A ₃₆	1	1
A ₃₇	1	1	A ₃₇	0	0
A ₃₈	0	0	A ₃₈	1	1
A ₃₉	1	1	A ₃₉	0	0
A ₄₀	0	1	A ₄₀	0	0
A ₄₁	0	0	A ₄₁	1	1
A ₄₂	1	1	A ₄₂	0	0
A ₄₃	1	1	A ₄₃	0	0
A ₄₄	0	0	A ₄₄	1	0
A ₄₅	0	0	A ₄₅	1	1
A ₄₆	0	0	A ₄₆	1	1
A ₄₇	0	0	A ₄₇	1	1

A ₄₈	1	1
A ₄₉	1	1
A ₅₀	1	1
A ₅₁	1	1
A ₅₂	0	0
A ₅₃	0	1
A ₅₄	0	1
A ₅₅	0	0
A ₅₆	0	0,072
A ₅₇	1	1
A ₅₈	0	1
A ₅₉	1	1
A ₆₀	0	0
A ₆₁	0	1
A ₆₂	0	0,960
A ₆₃	0	1
A ₆₄	1	1
A ₆₅	1	1
A ₆₆	0	1
A ₆₇	1	1
A ₆₈	0	0
A ₆₉	1	1
A ₇₀	0	0
A ₇₁	0	1
A ₇₂	1	1
A ₇₃	1	1
A ₇₄	0	0
A ₇₅	1	1
A ₇₆	0	0
A ₇₇	0	1
A ₇₈	0	1
A ₇₉	1	1
A ₈₀	0	0
A ₈₁	1	1

A ₄₈	0	0
A ₄₉	0	0
A ₅₀	0	0
A ₅₁	0	0
A ₅₂	1	1
A ₅₃	1	0
A ₅₄	1	0
A ₅₅	1	0,790
A ₅₆	1	0
A ₅₇	0	0
A ₅₈	1	0
A ₅₉	0	0
A ₆₀	1	0
A ₆₁	0	0
A ₆₂	1	0
A ₆₃	1	0
A ₆₄	0	0
A ₆₅	0	0
A ₆₆	0	0
A ₆₇	0	0
A ₆₈	1	0
A ₆₉	0	0
A ₇₀	1	1
A ₇₁	0	0
A ₇₂	0	0
A ₇₃	0	0
A ₇₄	1	0
A ₇₅	0	0
A ₇₆	1	0
A ₇₇	0	0
A ₇₈	0,908	0
A ₇₉	0	0
A ₈₀	1	0
A ₈₁	0	0

Tabela A.17 – Matriz dos índices de discordância $d(a, b_h)$ e $d(b_h, a)$ do ELECTRE TRI – Critério Lead Time

$d_j(a, b_h)$	b_1	b_2	$d_j(b_h, a)$	b_1	b_2
A ₁	0	0	A ₁	1	0
A ₂	0	0	A ₂	1	0
A ₃	0	0	A ₃	1	0
A ₄	0	0	A ₄	1	0
A ₅	0	0	A ₅	1	0
A ₆	0	1	A ₆	1	0
A ₇	0	1	A ₇	0	0
A ₈	0	1	A ₈	0	0
A ₉	0	1	A ₉	0	0
A ₁₀	1	1	A ₁₀	0	0
A ₁₁	0	1	A ₁₁	0	0
A ₁₂	0	1	A ₁₂	1	0
A ₁₃	1	1	A ₁₃	0	0
A ₁₄	0	1	A ₁₄	0	0
A ₁₅	0	1	A ₁₅	1	0
A ₁₆	0	1	A ₁₆	1	0
A ₁₇	0	1	A ₁₇	1	0
A ₁₈	0	1	A ₁₈	1	0
A ₁₉	0	1	A ₁₉	1	0
A ₂₀	0	1	A ₂₀	1	0
A ₂₁	0	1	A ₂₁	0	0
A ₂₂	0	1	A ₂₂	0	0
A ₂₃	0	1	A ₂₃	0	0
A ₂₄	0	1	A ₂₄	0	0
A ₂₅	0	0	A ₂₅	1	1
A ₂₆	0	1	A ₂₆	1	0
A ₂₇	0	0	A ₂₇	1	1
A ₂₈	0	1	A ₂₈	1	0
A ₂₉	0	1	A ₂₉	1	0
A ₃₀	0	1	A ₃₀	1	0
A ₃₁	0	1	A ₃₁	0	0
A ₃₂	0	1	A ₃₂	0	0
A ₃₃	1	1	A ₃₃	0	0
A ₃₄	0	0	A ₃₄	1	0
A ₃₅	0	1	A ₃₅	1	0
A ₃₆	0	0,417	A ₃₆	1	0
A ₃₇	1	1	A ₃₇	0	0
A ₃₈	0	0	A ₃₈	1	1
A ₃₉	0	1	A ₃₉	0	0
A ₄₀	0	0	A ₄₀	1	1
A ₄₁	0	0	A ₄₁	1	0
A ₄₂	0	0	A ₄₂	1	0
A ₄₃	0	1	A ₄₃	1	0
A ₄₄	0	1	A ₄₄	1	0
A ₄₅	0	1	A ₄₅	1	0
A ₄₆	0	0	A ₄₆	1	1
A ₄₇	0	0	A ₄₇	1	1

A ₄₈	0	1
A ₄₉	0	1
A ₅₀	0	1
A ₅₁	0	0
A ₅₂	0	0
A ₅₃	0	0
A ₅₄	0	1
A ₅₅	0	0
A ₅₆	0	0
A ₅₇	0	0
A ₅₈	0	1
A ₅₉	0	0
A ₆₀	0	0,417
A ₆₁	0	0
A ₆₂	0	0
A ₆₃	0	0
A ₆₄	0	1
A ₆₅	0	1
A ₆₆	0	1
A ₆₇	0	1
A ₆₈	0	0,417
A ₆₉	0	1
A ₇₀	0	0,417
A ₇₁	0	0,417
A ₇₂	0	0,417
A ₇₃	1	1
A ₇₄	0	1
A ₇₅	0	1
A ₇₆	0	1
A ₇₇	0	1
A ₇₈	0	1
A ₇₉	0	1
A ₈₀	0	0
A ₈₁	0	1

A ₄₈	0	0
A ₄₉	0	0
A ₅₀	0	0
A ₅₁	1	0
A ₅₂	1	0
A ₅₃	1	1
A ₅₄	1	0
A ₅₅	1	1
A ₅₆	1	1
A ₅₇	1	0
A ₅₈	1	0
A ₅₉	1	0
A ₆₀	1	0
A ₆₁	1	1
A ₆₂	1	1
A ₆₃	1	1
A ₆₄	1	0
A ₆₅	0	0
A ₆₆	0	0
A ₆₇	1	0
A ₆₈	1	0
A ₆₉	0	0
A ₇₀	1	0
A ₇₁	1	0
A ₇₂	1	0
A ₇₃	0	0
A ₇₄	0	0
A ₇₅	1	0
A ₇₆	1	0
A ₇₇	0	0
A ₇₈	0	0
A ₇₉	0	0
A ₈₀	1	1
A ₈₁	1	0

Tabela A.18 – Matriz dos índices de discordância $d(a, b_h)$ e $d(b_h, a)$ do ELECTRE TRI – Critério Impacto de Falta

$d_j(a, b_h)$	b_1	b_2
A ₁	0	0
A ₂	0	1
A ₃	0	0
A ₄	0	1
A ₅	0	1
A ₆	0	1
A ₇	0	1
A ₈	0	1
A ₉	0	0
A ₁₀	0	0
A ₁₁	0	1
A ₁₂	0	1
A ₁₃	0	1
A ₁₄	0	1
A ₁₅	0	1
A ₁₆	0	1
A ₁₇	0	1
A ₁₈	0	1
A ₁₉	0	1
A ₂₀	0	1
A ₂₁	0	1
A ₂₂	0	0
A ₂₃	0	0
A ₂₄	0	1
A ₂₅	0	1
A ₂₆	0	0,556
A ₂₇	0	1
A ₂₈	0	1
A ₂₉	0	0
A ₃₀	0	1
A ₃₁	0	1
A ₃₂	0	0
A ₃₃	0	1
A ₃₄	0	1
A ₃₅	0	1
A ₃₆	0	1
A ₃₇	0	1
A ₃₈	0	1
A ₃₉	0	1
A ₄₀	0	1
A ₄₁	0	1
A ₄₂	0	1
A ₄₃	0	1
A ₄₄	0	1
A ₄₅	0	1
A ₄₆	0	0,556

$d_j(b_h, a)$	b_1	b_2
A ₁	1	0
A ₂	1	0
A ₃	1	1
A ₄	1	0
A ₅	1	0
A ₆	1	0
A ₇	1	0
A ₈	1	0
A ₉	1	1
A ₁₀	1	1
A ₁₁	1	0
A ₁₂	1	0
A ₁₃	1	0
A ₁₄	1	0
A ₁₅	1	0
A ₁₆	1	0
A ₁₇	1	0
A ₁₈	1	0
A ₁₉	1	0
A ₂₀	1	0
A ₂₁	1	0
A ₂₂	1	1
A ₂₃	1	1
A ₂₄	1	0
A ₂₅	1	0
A ₂₆	1	0
A ₂₇	1	0
A ₂₈	1	0
A ₂₉	1	1
A ₃₀	1	0
A ₃₁	1	0
A ₃₂	1	1
A ₃₃	1	0
A ₃₄	1	0
A ₃₅	1	0
A ₃₆	1	0
A ₃₇	1	0
A ₃₈	1	0
A ₃₉	1	0
A ₄₀	1	0
A ₄₁	1	0
A ₄₂	1	0
A ₄₃	1	0
A ₄₄	1	0
A ₄₅	1	0
A ₄₆	1	0

A ₄₇	0	1
A ₄₈	0	1
A ₄₉	0	1
A ₅₀	0	0,556
A ₅₁	0	1
A ₅₂	0	1
A ₅₃	0	1
A ₅₄	0	1
A ₅₅	0	1
A ₅₆	0	1
A ₅₇	0	1
A ₅₈	0	1
A ₅₉	0	1
A ₆₀	0	0
A ₆₁	0	1
A ₆₂	0	1
A ₆₃	0	1
A ₆₄	0	1
A ₆₅	0	1
A ₆₆	0	0
A ₆₇	0	1
A ₆₈	0	0
A ₆₉	0	1
A ₇₀	0	0
A ₇₁	0	1
A ₇₂	0	1
A ₇₃	0	1
A ₇₄	0	1
A ₇₅	0	1
A ₇₆	0	1
A ₇₇	0	1
A ₇₈	0	1
A ₇₉	0	1
A ₈₀	0	1
A ₈₁	0	1

A ₄₇	1	0
A ₄₈	1	0
A ₄₉	1	0
A ₅₀	1	0
A ₅₁	1	0
A ₅₂	1	0
A ₅₃	1	0
A ₅₄	1	0
A ₅₅	1	0
A ₅₆	1	0
A ₅₇	1	0
A ₅₈	1	0
A ₅₉	1	0
A ₆₀	1	1
A ₆₁	1	0
A ₆₂	1	0
A ₆₃	1	0
A ₆₄	1	0
A ₆₅	1	0
A ₆₆	1	1
A ₆₇	1	0
A ₆₈	1	1
A ₆₉	1	0
A ₇₀	1	1
A ₇₁	1	0
A ₇₂	1	0
A ₇₃	1	0
A ₇₄	1	0
A ₇₅	1	0
A ₇₆	1	0
A ₇₇	1	0
A ₇₈	1	0
A ₇₉	1	0
A ₈₀	1	0
A ₈₁	1	0

Tabela A.19– Matriz dos índices de credibilidade $\sigma(a,b_h)$ e $\sigma(b_h,a)$ do ELECTRE TRI

$\sigma(a,b_h)$	b1	b2
A ₁	1	0
A ₂	0,6	0
A ₃	1	0,65
A ₄	0,6	0
A ₅	1	0
A ₆	0,6	0
A ₇	0	0
A ₈	0	0
A ₉	0,65	0
A ₁₀	0	0
A ₁₁	0	0
A ₁₂	1	0
A ₁₃	0	0
A ₁₄	0	0
A ₁₅	0,6	0
A ₁₆	0,6	0
A ₁₇	0,6	0
A ₁₈	0,6	0
A ₁₉	0,6	0
A ₂₀	0,6	0
A ₂₁	0	0
A ₂₂	0,65	0
A ₂₃	0,65	0
A ₂₄	0	0
A ₂₅	0,6	0
A ₂₆	0	0
A ₂₇	1	0
A ₂₈	0,6	0
A ₂₉	1	0
A ₃₀	0	0
A ₃₁	0	0
A ₃₂	0,65	0
A ₃₃	0	0
A ₃₄	0	0
A ₃₅	0,6	0
A ₃₆	1	0
A ₃₇	0	0
A ₃₈	1	0
A ₃₉	0	0
A ₄₀	0,87	0
A ₄₁	1	0
A ₄₂	0	0
A ₄₃	0	0
A ₄₄	0,6	0
A ₄₅	0,6	0
A ₄₆	1	0,6
A ₄₇	1	0

$\sigma(b_h,a)$	b1	b2
A ₁	0	0,25
A ₂	0	0
A ₃	0	0
A ₄	0	0
A ₅	0	0
A ₆	0	1
A ₇	0	1
A ₈	0	1
A ₉	0	0
A ₁₀	0	0
A ₁₁	0	1
A ₁₂	0	0
A ₁₃	0	1
A ₁₄	0	1
A ₁₅	0	1
A ₁₆	0	1
A ₁₇	0	1
A ₁₈	0	0
A ₁₉	0	1
A ₂₀	0	1
A ₂₁	0	1
A ₂₂	0	0
A ₂₃	0	0
A ₂₄	0	1
A ₂₅	0	0
A ₂₆	0	1
A ₂₇	0	0
A ₂₈	0	1
A ₂₉	0	0
A ₃₀	0	1
A ₃₁	0	1
A ₃₂	0	0
A ₃₃	0	1
A ₃₄	0	0,65
A ₃₅	0	0
A ₃₆	0	0
A ₃₇	0	1
A ₃₈	0	0
A ₃₉	0	1
A ₄₀	0	0
A ₄₁	0	0
A ₄₂	0	0,65
A ₄₃	0	1
A ₄₄	0	1
A ₄₅	0	0
A ₄₆	0	0
A ₄₇	0	0

A ₄₈	0	0
A ₄₉	0	0
A ₅₀	0	0
A ₅₁	0	0
A ₅₂	0,6	0
A ₅₃	0,6	0
A ₅₄	0,6	0
A ₅₅	0,6	0
A ₅₆	0,6	0
A ₅₇	0	0
A ₅₈	0,6	0
A ₅₉	0	0
A ₆₀	1	0,65
A ₆₁	0,51	0
A ₆₂	0,6	0
A ₆₃	1	0
A ₆₄	0	0
A ₆₅	0	0
A ₆₆	0,65	0
A ₆₇	0	0
A ₆₈	1	0,40
A ₆₉	0	0
A ₇₀	1	0,65
A ₇₁	0,6	0
A ₇₂	0	0
A ₇₃	0	0
A ₇₄	0,65	0
A ₇₅	0	0
A ₇₆	1	0
A ₇₇	0,65	0
A ₇₈	0,65	0
A ₇₉	0	0
A ₈₀	0,6	0
A ₈₁	0	0

A ₄₈	0	1
A ₄₉	0	1
A ₅₀	0	1
A ₅₁	0	0,65
A ₅₂	0	0
A ₅₃	0	0
A ₅₄	0	1
A ₅₅	0	0
A ₅₆	0	0
A ₅₇	0	0,65
A ₅₈	0	1
A ₅₉	0	0,65
A ₆₀	0	0
A ₆₁	0	0
A ₆₂	0	0
A ₆₃	0	0
A ₆₄	0	1
A ₆₅	0	1
A ₆₆	0	0
A ₆₇	0	1
A ₆₈	0	0
A ₆₉	0	1
A ₇₀	0	0
A ₇₁	0	1
A ₇₂	0	1
A ₇₃	0	1
A ₇₄	0	1
A ₇₅	0	1
A ₇₆	0	1
A ₇₇	0	1
A ₇₈	0	1
A ₇₉	0	1
A ₈₀	0	0
A ₈₁	0	1

Tabela A.20 – Matriz das relações de Sobreclassificação do ELECTRE TRI

	b1	b2
A ₁	a>b	aRb
A ₂	a>b	aRb
A ₃	a>b	a>b
A ₄	a>b	aRb
A ₅	a>b	aRb
A ₆	a>b	b>a
A ₇	aRb	b>a
A ₈	aRb	b>a
A ₉	a>b	aRb
A ₁₀	aRb	aRb
A ₁₁	aRb	b>a
A ₁₂	a>b	aRb
A ₁₃	aRb	b>a
A ₁₄	aRb	b>a
A ₁₅	a>b	b>a
A ₁₆	a>b	b>a
A ₁₇	a>b	b>a
A ₁₈	a>b	aRb
A ₁₉	a>b	b>a
A ₂₀	a>b	b>a
A ₂₁	aRb	b>a
A ₂₂	a>b	aRb
A ₂₃	a>b	aRb
A ₂₄	aRb	b>a
A ₂₅	a>b	aRb
A ₂₆	aRb	b>a
A ₂₇	a>b	aRb
A ₂₈	a>b	b>a
A ₂₉	a>b	aRb
A ₃₀	aRb	b>a
A ₃₁	aRb	b>a
A ₃₂	a>b	aRb
A ₃₃	aRb	b>a
A ₃₄	aRb	b>a
A ₃₅	a>b	aRb
A ₃₆	a>b	aRb
A ₃₇	aRb	b>a
A ₃₈	a>b	aRb
A ₃₉	aRb	b>a
A ₄₀	a>b	aRb
A ₄₁	a>b	aRb
A ₄₂	aRb	b>a
A ₄₃	aRb	b>a
A ₄₄	a>b	b>a
A ₄₅	a>b	aRb
A ₄₆	a>b	a>b
A ₄₇	a>b	aRb
A ₄₈	aRb	b>a

A ₄₉	aRb	b>a
A ₅₀	aRb	b>a
A ₅₁	aRb	b>a
A ₅₂	a>b	aRb
A ₅₃	a>b	aRb
A ₅₄	a>b	b>a
A ₅₅	a>b	aRb
A ₅₆	a>b	aRb
A ₅₇	aRb	b>a
A ₅₈	a>b	b>a
A ₅₉	aRb	b>a
A ₆₀	a>b	a>b
A ₆₁	a>b	aRb
A ₆₂	a>b	aRb
A ₆₃	a>b	aRb
A ₆₄	aRb	b>a
A ₆₅	aRb	b>a
A ₆₆	a>b	aRb
A ₆₇	aRb	b>a
A ₆₈	a>b	aRb
A ₆₉	aRb	b>a
A ₇₀	a>b	a>b
A ₇₁	a>b	b>a
A ₇₂	aRb	b>a
A ₇₃	aRb	b>a
A ₇₄	a>b	b>a
A ₇₅	aRb	b>a
A ₇₆	a>b	b>a
A ₇₇	a>b	b>a
A ₇₈	a>b	b>a
A ₇₉	aRb	b>a
A ₈₀	a>b	aRb
A ₈₁	aRb	b>a

Tabela A.21 – Resultado da Aplicação do ELECTRE TRI

	Procedimento otimista	Procedimento pessimista
A ₁	3	2
A ₂	3	2
A ₃	3	3
A ₄	3	2
A ₅	3	2
A ₆	2	2
A ₇	2	1
A ₈	2	1
A ₉	3	2
A ₁₀	3	1
A ₁₁	2	1
A ₁₂	3	2
A ₁₃	2	1
A ₁₄	2	1
A ₁₅	2	2
A ₁₆	2	2
A ₁₇	2	2
A ₁₈	3	2
A ₁₉	2	2
A ₂₀	2	2
A ₂₁	2	1
A ₂₂	3	2
A ₂₃	3	2
A ₂₄	2	1
A ₂₅	3	2
A ₂₆	2	1
A ₂₇	3	2
A ₂₈	2	2
A ₂₉	3	2
A ₃₀	2	1
A ₃₁	2	1
A ₃₂	3	2
A ₃₃	2	1
A ₃₄	2	1
A ₃₅	3	2
A ₃₆	3	2
A ₃₇	2	1
A ₃₈	3	2
A ₃₉	2	1
A ₄₀	3	2
A ₄₁	3	2
A ₄₂	2	1
A ₄₃	2	1
A ₄₄	2	2
A ₄₅	3	2
A ₄₆	3	3
A ₄₇	3	2

A ₄₈	2	1
A ₄₉	2	1
A ₅₀	2	1
A ₅₁	2	1
A ₅₂	3	2
A ₅₃	3	2
A ₅₄	2	2
A ₅₅	3	2
A ₅₆	3	2
A ₅₇	2	1
A ₅₈	2	2
A ₅₉	2	1
A ₆₀	3	3
A ₆₁	3	2
A ₆₂	3	2
A ₆₃	3	2
A ₆₄	2	1
A ₆₅	2	1
A ₆₆	3	2
A ₆₇	2	1
A ₆₈	3	2
A ₆₉	2	1
A ₇₀	3	3
A ₇₁	2	2
A ₇₂	2	1
A ₇₃	2	1
A ₇₄	2	2
A ₇₅	2	1
A ₇₆	2	2
A ₇₇	2	2
A ₇₈	2	2
A ₇₉	2	1
A ₈₀	3	2
A ₈₁	2	1

Tabela A.22– Resultado da análise de sensibilidade 1 – variação no parâmetro λ de 0,5 para 0,6

	Procedimento otimista	Procedimento pessimista
A ₁	3	2
A ₂	3	2
A ₃	3	3
A ₄	3	2
A ₅	3	2
A ₆	2	2
A ₇	2	1
A ₈	2	1
A ₉	3	2
A ₁₀	3	1
A ₁₁	2	1
A ₁₂	3	2
A ₁₃	2	1
A ₁₄	2	1
A ₁₅	2	2
A ₁₆	2	2
A ₁₇	2	2
A ₁₈	3	2
A ₁₉	2	2
A ₂₀	2	2
A ₂₁	2	1
A ₂₂	3	2
A ₂₃	3	2
A ₂₄	2	1
A ₂₅	3	2
A ₂₆	2	1
A ₂₇	3	2
A ₂₈	2	2
A ₂₉	3	2
A ₃₀	2	1
A ₃₁	2	1
A ₃₂	3	2
A ₃₃	2	1
A ₃₄	2	1
A ₃₅	3	2
A ₃₆	3	2
A ₃₇	2	1
A ₃₈	3	2
A ₃₉	2	1
A ₄₀	3	2
A ₄₁	3	2
A ₄₂	2	1
A ₄₃	2	1
A ₄₄	2	2
A ₄₅	3	2
A ₄₆	3	3
A ₄₇	3	2

A ₄₈	2	1
A ₄₉	2	1
A ₅₀	2	1
A ₅₁	2	1
A ₅₂	3	2
A ₅₃	3	2
A ₅₄	2	2
A ₅₅	3	2
A ₅₆	3	2
A ₅₇	2	1
A ₅₈	2	2
A ₅₉	2	1
A ₆₀	3	3
A ₆₁	3	1
A ₆₂	3	2
A ₆₃	3	2
A ₆₄	2	1
A ₆₅	2	1
A ₆₆	3	2
A ₆₇	2	1
A ₆₈	3	2
A ₆₉	2	1
A ₇₀	3	3
A ₇₁	2	2
A ₇₂	2	1
A ₇₃	2	1
A ₇₄	2	2
A ₇₅	2	1
A ₇₆	2	2
A ₇₇	2	2
A ₇₈	2	2
A ₇₉	2	1
A ₈₀	3	2
A ₈₁	2	1

Tabela A.23 – Resultado da análise de sensibilidade 2 – variação no peso IF em 20%

	Análise 1: -20% IF		Análise 2: +20% IF	
	Procedimento otimista	Procedimento pessimista	Procedimento otimista	Procedimento pessimista
A ₁	3	2	3	2
A ₂	3	2	3	2
A ₃	3	3	3	3
A ₄	3	2	3	2
A ₅	3	2	3	2
A ₆	2	2	2	2
A ₇	2	1	2	1
A ₈	2	1	2	1
A ₉	3	2	3	2
A ₁₀	3	1	?	?
A ₁₁	2	1	2	1
A ₁₂	3	2	3	2
A ₁₃	2	1	2	1
A ₁₄	2	1	2	1
A ₁₅	2	2	2	2
A ₁₆	2	2	2	2
A ₁₇	2	2	2	2
A ₁₈	3	2	3	2
A ₁₉	2	2	2	2
A ₂₀	2	2	2	2
A ₂₁	2	1	2	1
A ₂₂	3	2	3	2
A ₂₃	3	2	3	2
A ₂₄	2	1	2	1
A ₂₅	3	2	3	2
A ₂₆	2	1	2	1
A ₂₇	3	2	3	2
A ₂₈	2	2	2	2
A ₂₉	3	2	3	2
A ₃₀	2	1	2	1
A ₃₁	2	1	2	1
A ₃₂	3	2	3	2
A ₃₃	2	1	2	1
A ₃₄	2	1	2	1
A ₃₅	3	2	3	2
A ₃₆	3	2	3	2
A ₃₇	2	1	2	1
A ₃₈	3	2	3	2
A ₃₉	2	1	2	1
A ₄₀	3	2	3	2
A ₄₁	3	2	3	2
A ₄₂	2	1	2	1
A ₄₃	2	1	2	1
A ₄₄	2	2	2	2
A ₄₅	3	2	3	2

A ₄₆	3	3	3	2
A ₄₇	3	2	3	2
A ₄₈	2	1	2	1
A ₄₉	2	1	2	1
A ₅₀	2	1	2	1
A ₅₁	2	1	2	1
A ₅₂	3	2	3	2
A ₅₃	3	2	3	2
A ₅₄	2	2	2	2
A ₅₅	3	2	3	2
A ₅₆	3	2	3	2
A ₅₇	2	1	2	1
A ₅₈	2	2	2	2
A ₅₉	2	1	2	1
A ₆₀	3	3	3	3
A ₆₁	3	2	?	?
A ₆₂	3	2	3	2
A ₆₃	3	2	3	2
A ₆₄	2	1	2	1
A ₆₅	2	1	2	1
A ₆₆	3	2	3	2
A ₆₇	2	1	2	1
A ₆₈	3	2	3	2
A ₆₉	2	1	2	1
A ₇₀	3	3	3	3
A ₇₁	2	2	2	2
A ₇₂	2	1	2	1
A ₇₃	2	1	2	1
A ₇₄	2	2	2	2
A ₇₅	2	1	2	1
A ₇₆	2	2	2	2
A ₇₇	2	2	2	2
A ₇₈	2	2	2	2
A ₇₉	2	1	2	1
A ₈₀	3	2	3	2
A ₈₁	2	1	2	1

Tabela A.24 – variação nos pesos CI e LT em 20%

	Análise 3: -20% em CI e + 20% em LT		Análise 4: +20% em CI e - 20% em LT	
	Procedimento otimista	Procedimento pessimista	Procedimento otimista	Procedimento pessimista
A ₁	3	2	3	2
A ₂	3	2	3	2
A ₃	3	3	3	3
A ₄	3	2	3	2
A ₅	3	2	3	2
A ₆	2	2	2	2
A ₇	2	1	2	1
A ₈	2	1	2	1
A ₉	3	2	3	2
A ₁₀	3	1	3	1
A ₁₁	2	1	2	1
A ₁₂	3	2	3	2
A ₁₃	2	1	2	1
A ₁₄	2	1	2	1
A ₁₅	2	2	2	2
A ₁₆	2	2	2	2
A ₁₇	2	2	2	2
A ₁₈	3	2	3	2
A ₁₉	2	2	2	2
A ₂₀	2	2	2	2
A ₂₁	2	1	2	1
A ₂₂	3	2	3	2
A ₂₃	3	2	3	2
A ₂₄	2	1	2	1
A ₂₅	3	2	3	2
A ₂₆	2	1	2	1
A ₂₇	3	2	3	2
A ₂₈	2	2	2	2
A ₂₉	3	2	3	2
A ₃₀	2	1	2	1
A ₃₁	2	1	2	1
A ₃₂	3	2	3	2
A ₃₃	2	1	2	1
A ₃₄	2	1	2	1
A ₃₅	3	2	3	2
A ₃₆	3	2	3	2
A ₃₇	2	1	2	1
A ₃₈	3	2	3	2
A ₃₉	2	1	2	1
A ₄₀	3	2	3	2
A ₄₁	3	2	3	2
A ₄₂	2	1	2	1
A ₄₃	2	1	2	1
A ₄₄	2	2	2	2
A ₄₅	3	2	3	2

A ₄₆	3	3	3	3
A ₄₇	3	2	3	2
A ₄₈	2	1	2	1
A ₄₉	2	1	2	1
A ₅₀	2	1	2	1
A ₅₁	2	1	2	1
A ₅₂	3	2	3	2
A ₅₃	3	2	3	2
A ₅₄	2	2	2	2
A ₅₅	3	2	3	2
A ₅₆	3	2	3	2
A ₅₇	2	1	2	1
A ₅₈	2	2	2	2
A ₅₉	2	1	2	1
A ₆₀	3	3	3	3
A ₆₁	3	2	3	1
A ₆₂	3	2	3	2
A ₆₃	3	2	3	2
A ₆₄	2	1	2	1
A ₆₅	2	1	2	1
A ₆₆	3	2	3	2
A ₆₇	2	1	2	1
A ₆₈	3	2	3	2
A ₆₉	2	1	2	1
A ₇₀	3	3	3	3
A ₇₁	2	2	2	2
A ₇₂	2	1	2	1
A ₇₃	2	1	2	1
A ₇₄	2	2	2	2
A ₇₅	2	1	2	1
A ₇₆	2	2	2	2
A ₇₇	2	2	2	2
A ₇₈	2	2	2	2
A ₇₉	2	1	2	1
A ₈₀	3	2	3	2
A ₈₁	2	1	2	1

Tabela A.25 – variação nos limites de classes em 10%

	Procedimento otimista	Procedimento pessimista
A ₁	2	2
A ₂	3	2
A ₃	3	3
A ₄	3	2
A ₅	3	2
A ₆	2	2
A ₇	2	1
A ₈	1	1
A ₉	3	2
A ₁₀	3	1
A ₁₁	1	1
A ₁₂	3	2
A ₁₃	1	1
A ₁₄	1	1
A ₁₅	2	2
A ₁₆	2	2
A ₁₇	2	1
A ₁₈	3	2
A ₁₉	2	2
A ₂₀	2	2
A ₂₁	1	1
A ₂₂	3	2
A ₂₃	3	2
A ₂₄	2	1
A ₂₅	3	2
A ₂₆	2	1
A ₂₇	3	2
A ₂₈	2	2
A ₂₉	3	2
A ₃₀	2	1
A ₃₁	1	1
A ₃₂	3	2
A ₃₃	1	1
A ₃₄	2	1
A ₃₅	3	2
A ₃₆	3	2
A ₃₇	1	1
A ₃₈	3	2
A ₃₉	1	1
A ₄₀	3	2
A ₄₁	3	2
A ₄₂	2	1
A ₄₃	2	1
A ₄₄	2	2
A ₄₅	3	2
A ₄₆	3	2
A ₄₇	3	2

A ₄₈	1	1
A ₄₉	1	1
A ₅₀	2	1
A ₅₁	2	1
A ₅₂	3	2
A ₅₃	3	2
A ₅₄	2	2
A ₅₅	3	2
A ₅₆	3	2
A ₅₇	2	1
A ₅₈	2	2
A ₅₉	2	1
A ₆₀	3	2
A ₆₁	3	1
A ₆₂	3	2
A ₆₃	3	2
A ₆₄	2	1
A ₆₅	1	1
A ₆₆	3	2
A ₆₇	2	1
A ₆₈	3	2
A ₆₉	2	1
A ₇₀	3	3
A ₇₁	2	2
A ₇₂	2	1
A ₇₃	1	1
A ₇₄	2	2
A ₇₅	2	1
A ₇₆	2	2
A ₇₇	2	1
A ₇₈	2	2
A ₇₉	1	1
A ₈₀	3	2
A ₈₁	2	1

Tabela A.26 – Variação no veto em 10%

	Diminuição em 10% do veto		Aumento em 10% do veto	
	Procedimento otimista	Procedimento pessimista	Procedimento otimista	Procedimento pessimista
A ₁	3	2	3	2
A ₂	3	2	3	2
A ₃	3	3	3	3
A ₄	3	2	3	2
A ₅	3	2	3	2
A ₆	2	2	2	2
A ₇	2	1	2	1
A ₈	2	1	2	1
A ₉	3	2	3	2
A ₁₀	?	?	?	?
A ₁₁	2	1	2	1
A ₁₂	3	2	3	2
A ₁₃	2	1	2	1
A ₁₄	2	1	2	1
A ₁₅	2	2	2	2
A ₁₆	2	2	2	2
A ₁₇	2	2	2	2
A ₁₈	3	2	3	2
A ₁₉	2	2	2	2
A ₂₀	2	2	2	2
A ₂₁	2	1	2	1
A ₂₂	3	2	3	2
A ₂₃	3	2	3	2
A ₂₄	2	1	2	1
A ₂₅	3	2	3	2
A ₂₆	2	1	2	1
A ₂₇	3	2	3	2
A ₂₈	2	2	2	2
A ₂₉	3	2	3	2
A ₃₀	2	1	2	1
A ₃₁	2	1	2	1
A ₃₂	3	2	3	2
A ₃₃	2	1	2	1
A ₃₄	2	1	2	1
A ₃₅	3	2	3	2
A ₃₆	3	2	3	2
A ₃₇	2	1	2	1
A ₃₈	3	2	3	2
A ₃₉	2	1	2	1
A ₄₀	3	2	3	2
A ₄₁	3	2	3	2
A ₄₂	2	1	2	1
A ₄₃	2	1	2	1
A ₄₄	2	2	2	2
A ₄₅	3	2	3	2

A ₄₆	3	3	3	3
A ₄₇	3	2	3	2
A ₄₈	2	1	2	1
A ₄₉	2	1	2	1
A ₅₀	2	1	2	1
A ₅₁	2	1	2	1
A ₅₂	3	2	3	2
A ₅₃	3	2	3	2
A ₅₄	2	2	2	2
A ₅₅	3	2	3	2
A ₅₆	3	2	3	2
A ₅₇	2	1	2	1
A ₅₈	2	2	2	2
A ₅₉	2	1	2	1
A ₆₀	3	3	3	3
A ₆₁	3	2	3	2
A ₆₂	3	2	3	2
A ₆₃	3	2	3	2
A ₆₄	2	1	2	1
A ₆₅	2	1	2	1
A ₆₆	3	2	3	2
A ₆₇	2	1	2	1
A ₆₈	3	2	3	2
A ₆₉	2	1	2	1
A ₇₀	3	3	3	3
A ₇₁	2	2	2	2
A ₇₂	2	1	2	1
A ₇₃	2	1	2	1
A ₇₄	2	2	2	2
A ₇₅	2	1	2	1
A ₇₆	2	2	2	2
A ₇₇	2	2	2	2
A ₇₈	2	2	2	2
A ₇₉	2	1	2	1
A ₈₀	3	2	3	2
A ₈₁	2	1	2	1

Tabela A.27– variação nos limiares em 10%

	Aumento de 10% dos limiares		Diminuição de 10% dos limiares	
	Procedimento otimista	Procedimento pessimista	Procedimento otimista	Procedimento pessimista
A ₁	3	2	3	2
A ₂	3	2	3	2
A ₃	3	3	3	3
A ₄	3	2	3	2
A ₅	3	2	3	2
A ₆	2	2	2	2
A ₇	2	1	2	1
A ₈	2	1	2	1
A ₉	3	2	3	2
A ₁₀	?	?	?	?
A ₁₁	2	1	2	1
A ₁₂	3	2	3	2
A ₁₃	2	1	2	1
A ₁₄	2	1	2	1
A ₁₅	2	2	2	2
A ₁₆	2	2	2	2
A ₁₇	2	2	2	2
A ₁₈	3	2	3	2
A ₁₉	2	2	2	2
A ₂₀	2	2	2	2
A ₂₁	2	1	2	1
A ₂₂	3	2	3	2
A ₂₃	3	2	3	2
A ₂₄	2	1	2	1
A ₂₅	3	2	3	2
A ₂₆	2	1	2	1
A ₂₇	3	2	3	2
A ₂₈	2	2	2	2
A ₂₉	3	2	3	2
A ₃₀	2	1	2	1
A ₃₁	2	1	2	1
A ₃₂	3	2	3	2
A ₃₃	2	1	2	1
A ₃₄	2	1	2	1
A ₃₅	3	2	3	2
A ₃₆	3	2	3	2
A ₃₇	2	1	2	1
A ₃₈	3	2	3	2
A ₃₉	2	1	2	1
A ₄₀	3	2	3	2
A ₄₁	3	2	3	2
A ₄₂	2	1	2	1
A ₄₃	2	1	2	1
A ₄₄	2	2	2	2
A ₄₅	3	2	3	2

A ₄₆	3	3	3	3
A ₄₇	3	2	3	2
A ₄₈	2	1	2	1
A ₄₉	2	1	2	1
A ₅₀	2	1	2	1
A ₅₁	2	1	2	1
A ₅₂	3	2	3	2
A ₅₃	3	2	3	2
A ₅₄	2	2	2	2
A ₅₅	3	2	3	2
A ₅₆	3	2	3	2
A ₅₇	2	1	2	1
A ₅₈	2	2	2	2
A ₅₉	2	1	2	1
A ₆₀	3	3	3	3
A ₆₁	3	2	3	2
A ₆₂	3	2	3	2
A ₆₃	3	2	3	2
A ₆₄	2	1	2	1
A ₆₅	2	1	2	1
A ₆₆	3	2	3	2
A ₆₇	2	1	2	1
A ₆₈	3	2	3	2
A ₆₉	2	1	2	1
A ₇₀	3	3	3	3
A ₇₁	2	2	2	2
A ₇₂	2	1	2	1
A ₇₃	2	1	2	1
A ₇₄	2	2	2	2
A ₇₅	2	1	2	1
A ₇₆	2	2	2	2
A ₇₇	2	2	2	2
A ₇₈	2	2	2	2
A ₇₉	2	1	2	1
A ₈₀	3	2	3	2
A ₈₁	2	1	2	1

Tabela A.28– Resultado do ELECTRE TRI com resultados do modelo de inferência dos parâmetros

	Procedimento otimista	Procedimento pessimista
A ₁	3	2
A ₂	3	2
A ₃	3	3
A ₄	3	2
A ₅	3	2
A ₆	2	2
A ₇	2	1
A ₈	1	1
A ₉	3	2
A ₁₀	3	1
A ₁₁	1	1
A ₁₂	3	2
A ₁₃	1	1
A ₁₄	1	1
A ₁₅	2	2
A ₁₆	2	2
A ₁₇	2	2
A ₁₈	3	2
A ₁₉	2	2
A ₂₀	2	2
A ₂₁	1	1
A ₂₂	3	2
A ₂₃	3	2
A ₂₄	2	1
A ₂₅	3	2
A ₂₆	2	1
A ₂₇	3	2
A ₂₈	2	2
A ₂₉	3	2
A ₃₀	2	1
A ₃₁	1	1
A ₃₂	3	2
A ₃₃	1	1
A ₃₄	3	1
A ₃₅	3	2
A ₃₆	3	2
A ₃₇	1	1
A ₃₈	3	2
A ₃₉	1	1
A ₄₀	3	2
A ₄₁	3	2
A ₄₂	3	1
A ₄₃	2	1
A ₄₄	2	2
A ₄₅	3	2
A ₄₆	3	2
A ₄₇	3	2

A ₄₈	1	1
A ₄₉	1	1
A ₅₀	2	1
A ₅₁	3	1
A ₅₂	3	2
A ₅₃	3	2
A ₅₄	2	2
A ₅₅	3	2
A ₅₆	3	2
A ₅₇	3	1
A ₅₈	2	2
A ₅₉	3	1
A ₆₀	3	3
A ₆₁	3	1
A ₆₂	3	2
A ₆₃	3	2
A ₆₄	2	1
A ₆₅	1	1
A ₆₆	3	2
A ₆₇	2	1
A ₆₈	3	3
A ₆₉	2	1
A ₇₀	3	3
A ₇₁	3	2
A ₇₂	3	1
A ₇₃	1	1
A ₇₄	2	2
A ₇₅	2	1
A ₇₆	2	2
A ₇₇	2	2
A ₇₈	2	2
A ₇₉	1	1
A ₈₀	3	2
A ₈₁	2	1

APÊNDICE 5

Tabela A.29– Curva ABC

CÓDIGO	CI (R\$)	CLASSIFICAÇÃO
A ₃	132723,13	3
A ₄₇	114379,09	3
A ₁₈	95872,04	3
A ₄₆	65212,13	3
A ₄	57128,94	3
A ₃₂	53160,46	3
A ₄₅	40564,80	3
A ₅₂	33690,24	3
A ₇₀	32530,06	3
A ₃₅	26485,44	3
A ₂₅	25868,40	3
A ₃₆	23572,04	3
A ₅	23315,10	3
A ₂	22503,60	3
A ₁₂	21830,37	3
A ₄₁	21672,00	2
A ₃₈	20046,60	2
A ₅₅	19185,39	2
A ₇₆	16378,43	2
A ₇₄	14190,34	2
A ₈₀	13965,01	2
A ₆₀	13805,58	2
A ₄₄	12480,00	2
A ₆₈	12026,74	2
A ₅₆	11891,40	2
A ₆	11765,88	2
A ₁₆	11503,17	2
A ₂₉	11018,01	2
A ₆₂	10560,00	2
A ₂₀	9735,21	2
A ₁₀	8547,78	2
A ₅₃	8525,52	2
A ₆₃	7711,20	1
A ₅₄	7407,36	1
A ₂₇	7200,00	1
A ₅₈	6775,95	1
A ₉	6117,65	1
A ₂₈	5775,00	1
A ₇₈	5163,36	1
A ₂₃	5136,89	1
A ₁₉	4964,54	1
A ₇₁	4640,58	1

A ₁₅	4425,73	1
A ₁	4201,14	1
A ₂₂	4100,00	1
A ₆₆	3991,30	1
A ₁₇	3783,55	1
A ₇₇	3685,82	1
A ₆₁	3456,00	1
A ₄₀	3395,93	1
A ₇₂	2633,04	1
A ₃₄	2252,34	1
A ₂₁	2010,00	1
A ₃₇	1680,00	1
A ₅₇	1620,00	1
A ₅₉	1200,00	1
A ₅₁	1196,16	1
A ₇₃	1170,00	1
A ₂₆	1167,75	1
A ₃₉	1155,00	1
A ₆₉	1093,00	1
A ₇₅	928,20	1
A ₈₁	864,00	1
A ₆₄	810,00	1
A ₇	660,35	1
A ₇₉	649,07	1
A ₅₀	592,66	1
A ₄₃	480,00	1
A ₃₃	411,38	1
A ₄₈	392,83	1
A ₆₇	390,00	1
A ₃₀	370,56	1
A ₄₉	362,19	1
A ₂₄	283,73	1
A ₄₂	270,00	1
A ₈	223,24	1
A ₁₃	187,39	1
A ₆₅	87,00	1
A ₁₁	12,45	1
A ₁₄	10,56	1
A ₃₁	6,01	1

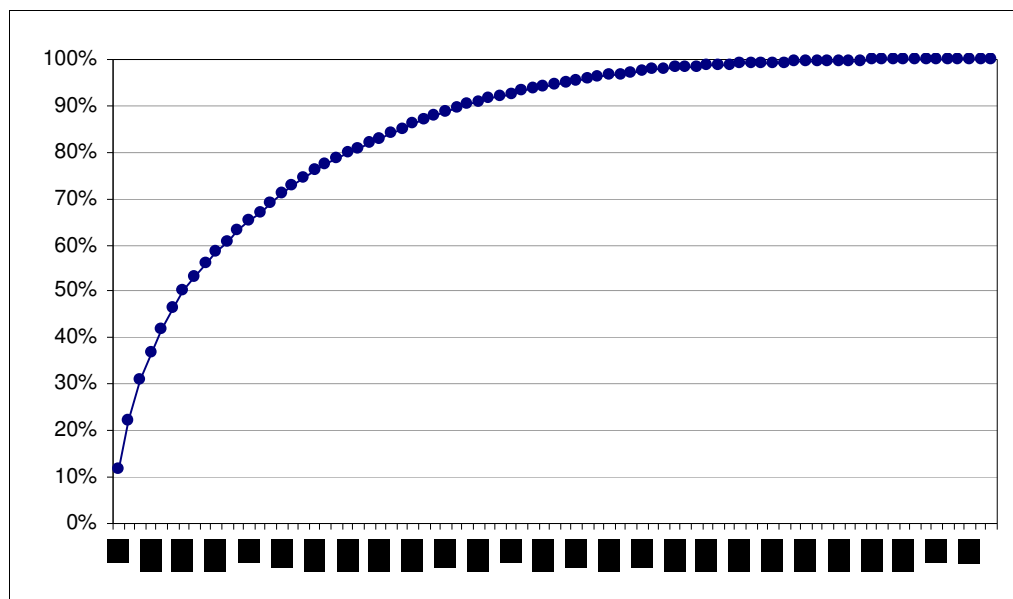


Figura A.1 – Curva ABC

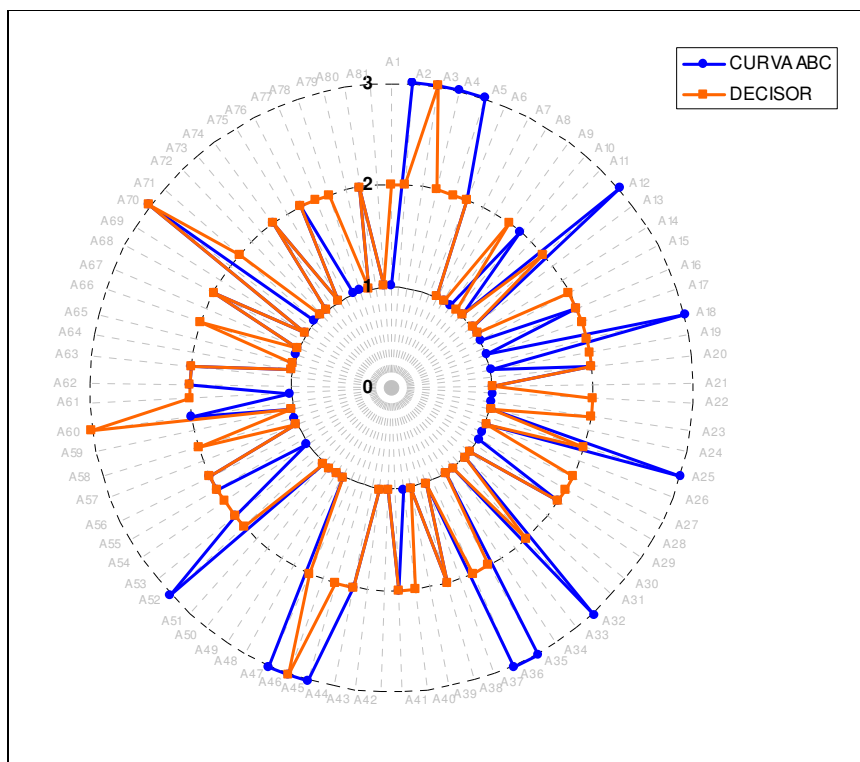


Figura A.2 – Comparativo entre a Classificação da Curva ABC e do Procedimento Pessimista realizado pelo ELECTRE TRI

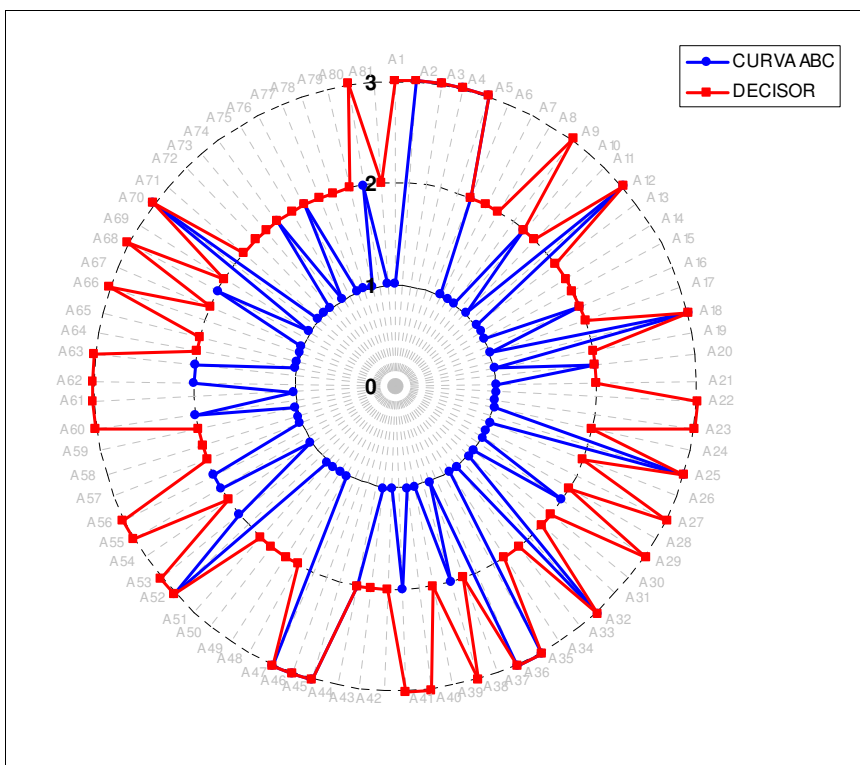


Figura A.3 – Comparativo entre a Classificação da Curva ABC e do Procedimento Otimista realizado pelo ELECTRE TRI

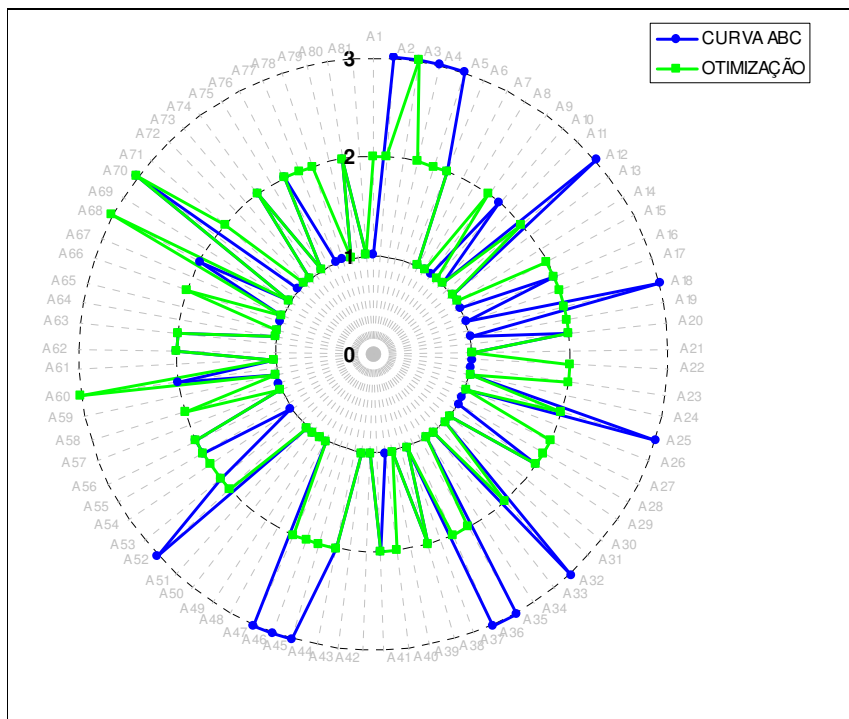


Figura A.4 – Comparativo entre a Classificação da Curva ABC e do Procedimento Pessimista realizado pelo ELECTRE TRI com o modelo de inferência dos parâmetros

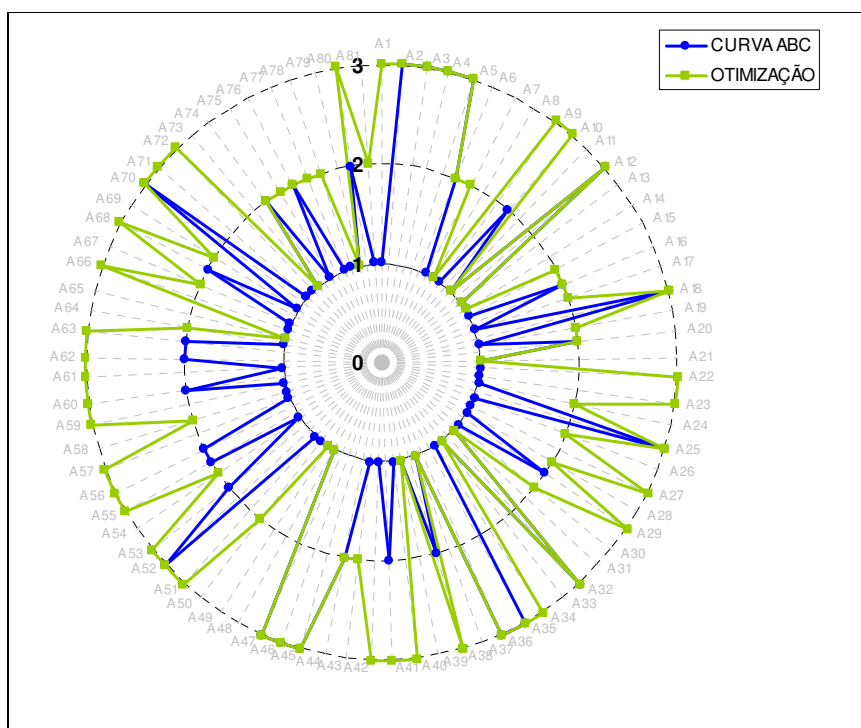


Figura A.5 – Comparativo entre a Classificação da Curva ABC e do Procedimento Otimista realizado pelo ELECTRE TRI com o modelo de inferência dos parâmetros